

JOÃO FERNANDO BORGES

SECCIONAMENTO, DO FUSTE DE *Pinus taeda* L. PARA
OBTENÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA SERRADA,
ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE FORMA POLINOMIAL

Dissertação submetida à consideração
da Comissão Examinadora, como requi-
sito parcial na obtenção do Título de
"Mestre em Ciências - M.Sc.", no
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal do Setor de Ciências Agrárias
da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1981



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

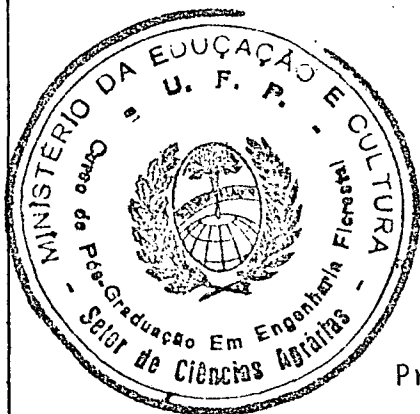
Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato JOÃO FERNANDO BORGES, sob o título "SECCIONAMENTO DO FUSTE DE *Pinus taeda* L. PARA OBTENÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA SERRADA, ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE FORMA POLINOMIAL" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais.

Observação: O critério de avaliação da dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 19 de novembro de 1981

Professor José de Arimatêa Silva, M.Sc.
Primeiro Examinador

Professor Sergio Ahrens, M.Sc.
Segundo Examinador



Professor Roberto Tuyoshi Hosokawa, DR.
Presidente

A
MEUS PAIS

DEDICO

BIOGRAFIA

O autor nasceu em Curitiba, Estado do Paraná, em 24 de junho de 1954.

Os estudos do primeiro grau foram realizados no Grupo Escolar e Ginásio Nossa Senhora de Fátima, tendo sido concluídos no Seminário São José, onde também foi concluído o segundo grau. Todos esses estabelecimentos de ensino são sediados em Curitiba.

A graduação no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná foi iniciada em 1973 e concluída em dezembro de 1976.

Em janeiro de 1977 foi admitido na firma Moosmayer Associados - Consultores de Recursos Florestais Ltda., onde permaneceu até maio de 1979. Em março de 1977, também iniciou o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, tendo sido os créditos completados parcialmente em julho de 1978.

Em junho de 1979 foi professor do curso de Engenharia Florestal da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso em Cuiabá, onde permaneceu até julho de 1980.

De agosto de 1980 a abril de 1981 foi responsável pelo Setor de Pesquisas da empresa MANASA - Madeireira Nacional S/A.

A conclusão dos créditos para o grau de M.Sc. se deu em novembro de 1981.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus sinceros agradecimentos:

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Aos orientadores Prof. Dr. Dietrich Burger e Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa pela dedicação, estímulo e amizade.

Aos demais professores do Curso de Pós-Graduação, que de alguma forma contribuíram para o término deste trabalho.

À empresa MANASA - Madeireira Nacional S.A. pela cessão dos dados utilizados neste trabalho.

À firma MOOSMAYER ASSOCIADOS - Consultores de Recursos Florestais Ltda. pela colaboração durante os primeiros anos de curso.

Ao Sr. Ivo José Rover pelo excelente trabalho de datilografia.

Aos colegas e amigos e a todos que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho fosse concluído com êxito.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Considerações Gerais sobre a forma do tronco de árvores	4
2.1.1. Conceito	5
2.1.2. Desenvolvimento	5
2.2. Funções de forma	6
2.2.1. Expressões simples	6
2.2.2. Polinômios e outros modelos	10
2.2.3. Polinômios segmentados	12
2.2.4. Análise de componentes principais	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Localização dos povoamentos	16
3.2. Descrição geográfica	16
3.2.1. Clima	16
3.3. Caracterização dos povoamentos	18
3.3.1. Características Gerais	18
3.3.2. Tratos Culturais	18
3.3.3. Estado Fitossanitário	19
3.4. Amostragem	19

	Página
3.5. Intensidade da amostragem	20
3.6. Dados coletados	20
3.7. Obtenção do volume real	23
3.8. Obtenção do fator de forma natural	23
3.9. Função de forma	24
3.9.1. Expressão matemática	24
3.9.2. Determinação dos coeficientes	25
3.10. Obtenção do volume através da função de forma..	26
3.11. Função de forma média	29
3.12. Estimativa do diâmetro sem casca a um décimo da altura da árvore em função do DAP	30
3.13. Estimativa do fator de forma natural em função do DAP e da altura	31
3.14. Seccionamento do fuste	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Funções de forma	39
4.2. Regressão linear simples para estimar o diâme- tro sem casca a um décimo da altura da árvore em função do DAP	42
4.3. Regressão múltipla para estimar o fator de for- ma natural em função do DAP e da altura	45
4.4. Programa para o seccionamento do fuste	46
5. CONCLUSÕES	59
6. RESUMO	62
SUMMARY	64

	Página
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	69

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Seccionamento esquemático do tronco	4
02	Local da coleta de dados	17
03	Esquema para as medições das árvores	20
04	Comprimento da tora	33
05	Retângulo inscrito num círculo	36
06.	Retângulo inscrito num segmento circular	37
07.	Representação esquemática de uma tora seccionada	38
08.	Funções genéricas de forma	41
09.	Funções de forma	44
10.	Relação existente entre diâmetro a um décimo da altura da árvore e diâmetro à altura do peito	46
11.	Representação da equação que estima o fator de forma natural em função do diâmetro à altura do peito e da altura	47
12.	Fluxograma	48

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Distribuição das árvores de <u>Pinus taeda</u> L. em classes de diâmetro e altura	21
02	Distribuição das árvores de Pinus taeda L. em classes de diâmetro e fator de forma	22
03	Esquema para a determinação de γ_i	27
04	Valores dos coeficientes das funções de forma genéricas	40
05	Valores dos coeficientes das funções de forma por classe de fator de forma	43
06	Listagem dos dados	70
07	Lista das variáveis	74
08	Resultado do seccionamento (exemplo 1)	76
09	Resultado do seccionamento (exemplo 2)	78
10	Resultado do seccionamento (exemplo 3)	80

1. INTRODUÇÃO

O desencadeamento da política de incentivos fiscais para o setor de florestamento e reflorestamento permitiu a implantação, entre 1967 e 1980, de aproximadamente 4 milhões de hectares de florestas. Entre as espécies plantadas, 85% foram exóticas, sendo 52% do gênero Eucalyptus e 33% do gênero Pinus⁵. No Sul do Brasil, entre as espécies de Pinus, predominaram as de clima temperado Pinus elliottii var. elliottii e Pinus taeda.

Coincidindo com a deflagração dos projetos florestais amparados pelos incentivos fiscais, o processo de exaustão das reservas nativas do Sul do Brasil, notadamente do pinheiro do Paraná (Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.), vem caminhando para o seu ápice. A demanda de produtos florestais, no entanto, tem aumentado, acompanhando o desenvolvimento econômico do país. Percebe-se aí a nítida tendência de depositar nas florestas plantadas, a tarefa de suprir a crescente necessidade de madeira.

Atravessa-se um período de transição, as florestas nativas cedem lugar às plantadas — no fornecimento de matéria-prima — de produtividade mais elevada e adequada às exigências da conjuntura econômica. Paralelamente, ocorrerá a adaptação da tecnologia do processamento dessa madeira às características peculiares do recurso florestal disponível.

Diante desse quadro, o manejo florestal tem procurado, através da pesquisa e do estudo, colaborar com os proprietá-

rios florestais, no sentido de proporcionar-lhes um aproveitamento adequado de seus recursos florestais.

O aproveitamento crescente das florestas plantadas de Pinus spp, por enquanto restrito ao material proveniente dos desbastes, exigirá uma metodologia para quantificar os volumes de madeira disponível, segundo os múltiplos fins a que possam ser destinados, como para a produção de madeira serrada, para a laminação ou para a fabricação de papel.

Dentre as utilizações da madeira de Pinus spp, tem-se constatado uma crescente importância da madeira serrada dessa conífera. Esse fato vem ocorrendo devido a diversos fatores como a queda da disponibilidade da madeira de pinho e seu alto preço, as próprias qualidades físico-mecânicas da madeira de Pinus spp, o preço mais atraente pela madeira destinada à serraria do que a destinada à obtenção de celulose e ainda a familiarização dos madeireiros e do mercado com a madeira de Pinus spp. Como consequência desse fenômeno, várias empresas vêm instalando unidades de processamento mecânico dessas coníferas. Quando da avaliação do potencial madeireiro de suas florestas e mais especificamente da disponibilidade de toras para serraria, em função dos limites de diâmetro mínimo para o processamento, ou em função de diferentes classes de madeira serrada, essas empresas têm encontrado algumas dificuldades, em virtude da inexistência de uma metodologia guia para esse problema.

A determinação segura dessas informações é de extrema importância para o dimensionamento dessas serrarias e para o planejamento das atividades do manejo da empresa. A formulação de um método para a obtenção dessas informações vem, pois, adequar-se a essa crescente necessidade.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho visa os seguintes objetivos:

- a) desenvolver uma função de forma para a espécie Pinus taeda L.;
- b) apresentar um modelo de regressão que permita a estimativa do fator de forma natural de uma árvore em função de variáveis dendrométricas de fácil obtenção, como o diâmetro à altura do peito e a altura total;
- c) desenvolver um programa de computação que, com base na função de forma, faça o seccionamento do fuste em toras e o desdobramento das toras em peças de madeira serrada, cujas dimensões tenham sido pré-estabelecidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A FORMA DO TRONCO DE ÁRVORES

LOETSCH et al.³⁵, descrevendo a forma do tronco de uma árvore, observam que, se tomada uma secção longitudinal, a curva configurada pelo seu perfil é na base convexa em relação ao eixo do tronco; essa parte convexa atinge um ponto de inflexão, cuja localização é variável segundo a espécie e, a partir daí, torna-se côncava e termina mais ou menos em forma de cone no topo. Esquematicamente, caracterizam-se três diferentes sólidos geométricos: um neilóide, um parabolóide e um cone (sentido base-topo). A figura 01 mostra o seccionamento esquemático do tronco nesses três sólidos geométricos.

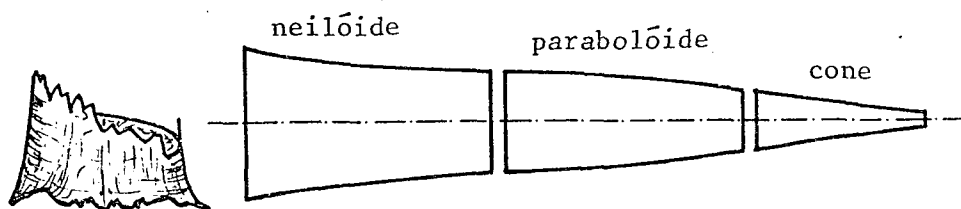


Figura 01: Seccionamento esquemático do tronco
(Conforme Loetsch)

ASSMANN² descreve a forma do tronco similarmente, acrescentando que a parte central do tronco é acentuadamente parabólica até a base da copa e a partir daí, parabólica com menos intensidade, tendendo para um cone.

Nas citações dos dois autores anteriormente referidos e ainda outras como as de CHAPMAN & MEYER⁷ e HUSCH et al.²⁶, a forma do tronco é geometricamente descrita como um neilóide na base, um parabolóide no meio e um cone no topo. Na realidade, essas formas raramente são encontradas e os limites entre os diferentes sólidos são de difícil determinação. Essa aproximação, no entanto, desempenha um importante valor teórico na definição de uma expressão matemática que descreva a forma do fuste.

2.1.1. CONCEITO

A forma da árvore — do seu tronco ou fuste — genericamente é a sua configuração externa que, a rigor, não se identifica com a forma de um sólido geométrico específico, mas com vários, segundo a porção do tronco considerada. Mais restritamente, a forma do tronco pode ser associada ao termo afilamento e representa a diminuição do diâmetro com o aumento da altura e como tal pode ser expressa por uma função matemática que descreva a tendência dessa variação.

2.1.2. DESENVOLVIMENTO

LARSON³² cita que várias teorias têm sido apresentadas para explicar a forma dos troncos, como a teoria nutricional, as teorias da condução da água e mecânica e ainda a teoria hormonal. Segundo LOETSCH et al.³⁵, no entanto, essas teorias para a dendrometria têm pequena importância, importando mais as funções que a descrevem.

As variáveis que afetam a forma do tronco, por outro lado, assumem bastante importância para a silvicultura e manejo, tendo sido estudadas por vários autores. LARSON³² referencia vários estudos, relacionando a densidade (número de árvores por unidade de área), o sítio, tratos culturais como a poda e o desbaste, a hereditariedade e ainda algumas anormalidades como doenças e pragas, com o desenvolvimento da forma do tronco das árvores.

2.2. FUNÇÕES DE FORMA

2.2.1. EXPRESSÕES SIMPLES

HÖJER²⁴ desenvolveu, no início do século, uma fórmula empírica para expressar a variação do diâmetro ao longo do tronco em árvores de Picea abies (L.) Karst. A fórmula usada foi:

$$\frac{d}{D} = C \log \frac{c + \ell}{c}$$

onde:

d = diâmetro à distância ℓ do solo

D = diâmetro à altura do peito

C e c = constantes

JONSON^{27,28} utilizou, alguns anos mais tarde, essa expressão, introduzindo uma "constante biológica" na equação original, por ter verificado, ao aplicar o modelo de Höjer em Pinus sylvestris L., uma queda do diâmetro excessivamente pro-

nunciada na parte superior do tronco. A equação obtida foi:

$$\frac{d}{D} = C \log \frac{c + \ell - 2,5}{c}$$

onde:

2,5 = "constante biológica"

Outros autores como MATTSSON³⁸ e CLAUGTON-WALLIN & McVICKER⁸ utilizaram a fórmula de Højer em outras espécies, constatando que, com a introdução de uma "constante biológica", esse modelo possibilitou alcançar bons resultados.

BEHRE³ testou a equação da hipérbole para descrever a forma do tronco de várias espécies, obtendo resultados mais consistentes do que aqueles obtidos com o uso da fórmula de Højer. A equação da hipérbole usada foi:

$$\frac{d}{D} = \frac{\ell}{a_0 + a_1 \cdot \ell}$$

onde:

d = diâmetro à distância ℓ do solo

D = diâmetro à altura do peito

a_0 e a_1 = coeficientes da equação

MATTE³⁷ observou que os troncos de coníferas são muito regulares e apresentam uma secção transversal circular, o que permite considerá-los como sólidos de revolução, cujo volume pode ser calculado por integração, desde que se tenham funções de forma adequadas. Trabalhando com a espécie Pinus taeda L., esse autor testou os modelos propostos por Højer e Behre e ainda os dois modelos seguintes:

$$y^2 = C.x^r$$

$$y = x \sqrt{a.x^2 + b.x + c}$$

onde:

y = diâmetro relativo na altura x

x = altura relativa do tronco

C, r, a, b e c = constantes

Da comparação dos quatro modelos, o autor concluiu ser a equação $y = x \sqrt{a.x^2 + b.x + c}$ a mais eficiente e que o resultado seria ainda melhor com uma estratificação dos dados.

GRAY²² propôs uma resolução bastante simples e de fácil aplicação onde o afilamento do diâmetro ou a redução da área transversal em função da altura são descritos por uma reta. Para a obtenção dessa linha — linha de afilamento de Gray — devem ser omitidas as medições das extremidades do fuste. Determinados os coeficientes da equação para cada árvore, constrói-se uma nova regressão relacionando os coeficientes da equação da reta com o diâmetro à altura do peito e a altura total. As equações referidas são:

$$d = a + b.h$$

$$c = a_0.D^{a1}.H^{a2}$$

onde:

d = diâmetro ou área transversal à altura h

a, b = coeficientes da equação da reta

c = coeficiente a ou b

D, H = diâmetro à altura do peito, altura total

a_0 , a_1 e a_2 = coeficientes da regressão

PRODAN⁴² observou que a função de forma seguinte pode ser, em muitos casos, utilizada com sucesso:

$$\frac{d_i}{d} = \frac{h_i^2}{b_0 + b_1 \frac{h_i}{h} + b_2 \frac{h_i^2}{h^2}}$$

onde:

d_i = diâmetro à altura h_i do tronco

d = diâmetro à altura do peito

h = altura total

b_0 , b_1 e b_2 = constantes

KOZAK et al.³¹ descreveram a forma de várias espécies através da função parabólica:

$$\frac{d^2}{D} = a + b \cdot \frac{h}{H} + c \cdot \frac{h^2}{H^2}$$

onde:

d = diâmetro sem casca à altura h

h = altura acima do solo

D = diâmetro à altura do peito

H = altura total da árvore

a , b e c = coeficientes da equação

Esse modelo descreveu satisfatoriamente a forma das 19 espécies estudadas, apesar de se tratar de uma função de construção muito simples.

GROSENBAUGH²³ com base na observação de que árvores individuais podem assumir uma infinidade de formas, afirmou que uma definição analítica explícita da forma do fuste não deve ser generalizada, devendo as funções de forma se restringirem a pequenas populações.

2.2.2. POLINÔMIOS E OUTROS MODELOS

BRUCE et al.⁶ empregaram funções de forma para a espécie Alnus rubra Bong descritas por equações de regressão. Na descrição do perfil do tronco, da base até o topo, usaram-se potências de até quadragésima ordem para a variável independente definida pela altura relativa:

$$x = \frac{H - H_m}{H - 4,5}$$

onde:

H = altura total em pés

H_m = altura da medição em pés

A variável dependente é dada pela razão entre os quadrados do diâmetro sem casca tomado a certa altura e do diâmetro à altura do peito com casca.

BENNETT & SWINDEL⁴ desenvolveram um modelo para a descrição da forma da árvore para a espécie Pinus elliottii Engelm. através de um polinômio do terceiro grau. Genericamente, o modelo pode ser expresso por:

$$\begin{aligned} \hat{d}(h) = & \beta_1 \frac{D(H-h)}{H-4,5} + \beta_2 (H-h) \cdot (h-4,5) + \beta_3 H(H-h) \cdot (h-4,5) + \\ & + \beta_4 (H-h) \cdot (H-4,5) \cdot (H-h-4,5) \end{aligned}$$

onde:

D = diâmetro com casca à altura do peito em polegada.

H = altura total em pés

$d(\hat{h})$ = diâmetro sem casca à altura h a partir do solo,

sendo que $4,5 \text{ pés} \leq h \leq H$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 = coeficientes a serem estimados

PETERS⁴¹ ao elaborar um método padrão para a construção de tabelas de volume para a espécie Araucaria araucana (Mol.) C.Kock, utilizou curvas de afilamento representadas por uma função polinomial do quinto grau:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4 + a_5 \cdot x^5$$

onde:

$$y = d_{0,i,h} / 2 \cdot d_{0,1,h} = \text{raio relativo e}$$

$$x = h_i / h = \text{altura relativa}$$

O método para a determinação dos coeficientes foi o do polinômio de interpolação, método esse já explorado por WUTT⁴⁹.

A equação polinomial do quinto grau foi ainda usada para descrever a forma do tronco de Pinus radiata D. Don por GOULDING & MURRAY²⁰.

HOSOKAWA²⁶ lançou mão desse mesmo modelo de polinômio para descrever a forma média do fuste de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., observando que essa equação polinomial apresenta a vantagem de ser facilmente integrada, permitindo o cálculo do volume de qualquer parte do fuste.

Um notável avanço teórico foi conseguido pelos pesquisadores DEMAERSCHALK^{9,10 e 11} e MUNRO & DEMAERSCHALK⁴⁰ com seus estudos sobre sistemas integrados entre funções de volume e forma. Nesses trabalhos, os autores derivam a equação de forma a partir das de volume para obter um sistema de equações denominadas compatíveis ou seja, uma equação de forma que integrada resulte no mesmo volume estimado pela equação de volume.

SILVA⁴⁶ testou vários modelos de função de forma nas espécies Picea abies (L.) Karst., Pinus sylvestris L. e Abies alba Miller com base nos estudos de KOZAK et al.³¹, acrescentando ainda modelos próprios como polinômios de segunda ordem.

2.2.3. POLINÔMIOS SEGMENTADOS

MAX & BURKHART³⁹, citando HUSCH et al.²⁶ que descreveram o fuste de uma árvore dividindo-o em três seções, cada uma assumindo formas geométricas definidas, sugerem que se utilizem três modelos de funções para expressar o afilamento do tronco. Esses três modelos podem ser juntados em um único modelo, que pode ser analisado pelas técnicas de regressão. As bases teóricas dessa técnica foram amplamente discutidas por GALLANT^{14,15,16 e 17} e GALLANT & FULLER¹⁸. Os autores após aplicarem essa técnica em árvores de Pinus taeda L., concluíram que devido à flexibilidade dos polinômios segmentados, podem-se obter resultados superiores àqueles obtidos com o uso de modelos quadráticos simples.

LIU³³ usou no estudo da forma do tronco da espécie Liriodendron tulipifera L. funções "splines" cúbicas, aplicando

o algoritmo desenvolvido por REINCH⁴⁴. A aproximação "spline" é uma interpolação de funções em classes de coordenadas que pode ser descrita como uma série de polinômios segmentados cúbicos, ou seja, em vez de aproximar-se uma função $F(x)$ que descreva um intervalo (a,b) através de um único polinômio, pode-se subdividir (a,b) em subintervalos (a,x_1) , (x_1,x_2) , ..., (x_{n-1}, b) e aproximar-se $f(x)$ por diferentes polinômios, um para cada subintervalo.

2.2.4. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

FRIES¹² e FRIES & MATERN¹³ usaram a análise de componentes principais, uma técnica exploratória multivariada, na determinação das variáveis independentes. Através desse método, obtiveram três componentes principais para a espécie Betula alleghaniensis Britton, cada um sendo a combinação dos expoentes da altura relativa, com os expoentes variando de 0,1 a 58. Através de uma combinação linear dos três componentes principais, estimou-se o diâmetro a uma dada altura.

KOZAK & SMITH³⁰ fizeram uma avaliação crítica desse método, comparando-o com outros mais simples e concluíram que aqueles mais simples são preferíveis desde que se defina um modelo adequado para os dados disponíveis, o que, segundo esses autores, pode ser conseguido através de uma análise gráfica preliminar.

Apesar da desvantagem da complexidade dessa técnica, LIU & KEISTER³⁴ tentaram novamente o uso da análise de componentes principais para estimar equações de forma, embora de

maneira um pouco diversa da apresentada por FRIES & MATERN¹³.

AHRENS¹, investigando a forma do tronco de Pinus taeda L., testou um polinômio de terceiro grau, não obtendo bom resultado. Com o uso da análise de componentes principais, atingiu o resultado esperado. O modelo final desenvolvido foi:

$$\hat{r}(\ell) = \frac{r_{1,3}}{\hat{r}(\ell_{1,3})} \cdot \hat{F}(\ell/h)$$

onde:

$\hat{r}(\ell)$ = raio estimado sem casca a uma distância absoluta ℓ da ponta do tronco em m

$r_{1,3} = d_{1,3}/2$ (raio sem casca à altura do peito em m)

$$\hat{r}(\ell_{1,3}) = b_0 + b_1 \cdot \ell_{1,3}^{1/4} + b_2 \cdot \ell_{1,3}^{1/3} + b_3 \cdot \ell_{1,3}^{1/2} + b_4 \cdot \ell_{1,3}$$

$$\hat{F}(\ell/L) = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{\ell}{L}\right)^{1/4} + b_2 \left(\frac{\ell}{L}\right)^{1/3} + b_3 \cdot \left(\frac{\ell}{L}\right)^{1/2} + b_4 \cdot \left(\frac{\ell}{L}\right)$$

L = comprimento total em m acima de 0,15 m do solo.

O autor concluiu que, se devidamente aplicada e interpretada, essa técnica exploratória multivariada pode ser considerada um algoritmo adequado para a investigação da forma do tronco em muitas circunstâncias.

No decorrer dos estudos referidos, observou-se uma evolução das técnicas de construção das funções matemáticas que descrevem a forma do tronco, desde modelos simples como o de Højer até o uso da análise de componentes principais que requer sofisticados recursos de computação eletrônica. Os vários modelos apresentados geralmente deram bons resultados, o que sugere que não é o modelo ou o processo em si que determina o

êxito na sua aplicação, mas a escolha adequada para os dados em mão. A maior ou menor precisão requerida nos resultados é também um fator importante na avaliação do processo escolhido.

Entre os modelos apresentados, os polinomiais têm sido amplamente explorados devido à sua flexibilidade e à facilidade de integração para a obtenção do volume. Após analisar vários modelos polinomiais, GROSENBAUGH²³ sugeriu utilizarem-se polinômios com grau no mínimo duas vezes superior ao número de inflexões das curvas de afilamento para se obter uma boa descrição dessas curvas. O número de inflexões e consequentemente o grau do polinômio, no entanto, adquirem um caráter subjetivo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS

Os povoamentos de onde se coletaram os dados para o presente trabalho localizam-se no imóvel Fazenda da Costa, pertencente à empresa MANASA - Madeireira Nacional S.A., município de Guarapuava, Estado do Paraná. Essa propriedade dista cerca de 35 km da sede do município.

Guarapuava situa-se a $51^{\circ}27'$ W de longitude, $25^{\circ}23'$ S de latitude, a 1.040 m de altitude. Na figura 02, tem-se a localização da propriedade onde foi realizada a coleta de dados.

3.2. DESCRIÇÃO GEOGRÁFICA

3.2.1. CLIMA

De acordo com MAACK³⁶, o clima do planalto de Guarapuava, pela classificação de Köppen, é do tipo Cfb, caracterizado por verões frescos, com a temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio igual a 12°C , sendo durante onze meses maior que 10°C e até cinco geadas noturnas por ano. A temperatura média anual é de $16,7^{\circ}\text{C}$.

A precipitação pluviométrica distribui-se regularmente durante o ano, variando entre 101,6 a 187,5 mm por mês, com a média anual de 1.674,8 mm.



Figura 02: Local de coleta de dados.

GOLFARI¹⁹ classifica a região de Guarapuava como do tipo Montano-baixo, super-úmido com geadas frequentes (Região 1) e como ecologicamente adequada para o desenvolvimento das espécies Pinus taeda L e Pinus elliottii Engelm.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS

3.3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os povoamentos onde se coletaram os dados são da espécie Pinus taeda L. com idades variando de sete a quatorze anos. Foram coletados dados de árvores com todas as idades nesse intervalo, à exceção da idade de nove anos.

O espaçamento inicial dos povoamento com sete e oito anos foi de 2,5 x 1,6 m e dos demais 2,0 x 2,0 m; em ambos os casos a densidade inicial foi de 2.500 árvores por ha.

3.3.2. TRATOS CULTURAIS

Em nenhum dos povoamentos foi feita a poda. No povoamento com sete anos, observam-se nas áreas onde ocorreram falhas, regular desenvolvimento da vegetação natural. Os povoamentos com doze anos ou mais já sofreram dois desbastes e os demais, à exceção dos que tem sete anos, apenas o primeiro desbaste. O tipo de desbaste foi seletivo e a intensidade 45% do número inicial de árvores no primeiro desbaste e 35% do remanescente do desbaste anterior no segundo desbaste. O primeiro e segundo desbastes foram feitos ao oitavo e décimo segundo ano, respectivamente.

3.3.3. ESTADO FITOSSANITÁRIO

O aspecto fitossanitário de todos os povoamentos é bom, não tendo ocorrido pragas, doenças ou incêndio em nenhum deles.

3.4. AMOSTRAGEM

Segundo KOZAK²⁹, uma árvore pode ser caracterizada como uma unidade de amostra quando usada para fins de amostragem ou para a construção de tabelas de volume. Presentemente, a variável de interesse é a forma da árvore que, como o volume, é uma característica individual. Para a sua avaliação foi utilizado o fator de forma de Hohenadl ou natural, que, conforme LOETSCH et al.³⁵, expressa com considerável eficiência a forma real da árvore, podendo ser expresso ainda em função do diâmetro à altura do peito e da altura total. A amostragem das árvores deu-se pelo processo inteiramente aleatório para a variável fator de forma natural. A idade dos povoamentos não foi considerada na amostragem, pois, de acordo com LOETSCH et al.³⁵, em intervalos pequenos de idade, a variação da forma é muito pequena, podendo ser negligenciada.

Para que a amostragem pudesse possibilitar a expressão média da forma dessas árvores, indivíduos com características qualitativas anômalas, como tortuosidade pronunciada, bifurcação, fuste inclinado, nodosidade excessiva e cicatrizes ou injúrias notórias foram evitados.

3.5. INTENSIDADE DA AMOSTRAGEM

Inicialmente foram abatidas 167 árvores; como, no entanto, tinha-se uma pequena frequência de indivíduos nas classes superiores de diâmetro e altura, abateram-se mais 70, totalizando 237.

Nos quadros 02 e 03 tem-se a distribuição das árvores em classes de diâmetro e altura e em classes de diâmetro e fator de forma natural, respectivamente.

3.6. DADOS COLETADOS

Para a medição dos diâmetros ao longo do fuste de cada árvore, adotou-se o seguinte procedimento: fez-se uma marca no tronco a 1,3 m de altura (diâmetro à altura do peito) para depois de derrubada a árvore, não se perder essa referência; em seguida, abateu-se a árvore, cortando-a a 0,10 m do solo. Abatida a árvore, foram medidos o D.A.P. com casca e sem casca, os diâmetros sem casca na base e a cada décimo da altura total (comprimento da árvore abatida). Na figura 03, tem-se o esquema utilizado. Os diâmetros foram medidos com uma fita diamétrica, a altura total e suas subdivisões com uma trena.

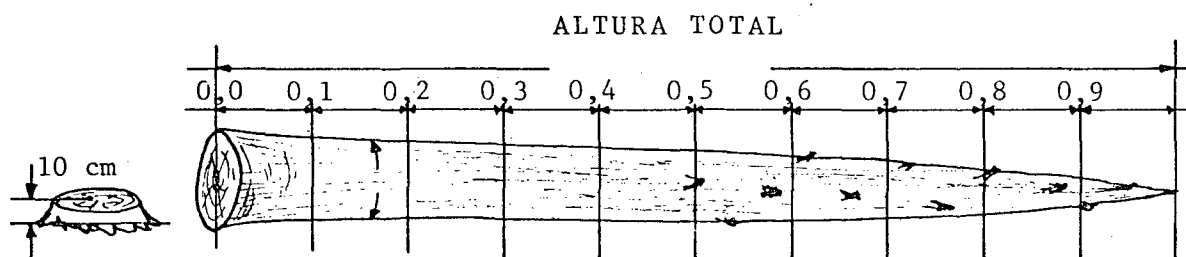


Figura 03: Esquema para as medições das árvores.

QUADRO 01: Distribuição das árvores de Pinus taeda L. em classes de diâmetro e altura.

DAP C/C	ALTURA (M)																	SOM
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
7		1																1
8	1		1															2
9			2															2
10		1	2	1		1												5
11		4	2	3	2	1												12
12		2	5	2	4													13
13	1		3	3	3	2				1								13
14			3	1	5	4	1	2	5									21
15				3	4	2	1				2	1						13
16			2	3	2	2	1		1	2	3							16
17			1	2	3	8			1	1			1					18
18				4	2	2	3				3	2	1					17
19			2	1	2	2	3					2	1					13
20				1		4	3		1	2		2	3					16
21					1	4		1		1		1	3	2			1	14
22				1		2			1	2		1	4	2	1			14
23									1			1	1	3				6
24									2	1	1			3				7
25									2	1				2				5
26							1					1						2
27							1			2		1			1			6
28											1							1
29													1	1	2			4
30													1		1			2
31														1	2			3
32														1	1			2
33															2	2		4
34															1		1	2
35														2				2
36																	1	1
SOM	2	8	23	25	28	34	14	3	14	13	10	13	16	18	11	2	3	237

QUADRO 02: Distribuição das árvores de Pinus taeda L. em classes de diâmetro e fator de forma.

FF. DE HOH																
DAP C/C	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	SOM
7								1								1
8				1			1									2
9							1	1								2
10		1		1		2			1							5
11			1	2	1	2	4		1	1						12
12	1		1	1	2	1	2	3	2							13
13				1	3	2	2		2	2	1					13
14					2	5	2	6	3	3						21
15			1			2	2	2	2	3					1	13
16				1	1	2	2	6	1	2	1					16
17			1	1	1	3	3	1	2	2		1	2	1		18
18		1	1		3	3		2		1	3	1	2			17
19			1	1	1	1	2		1	1	2	1	2			13
20					4	2		3	1	1	4		1			16
21						2	3	1		3	1	2	2			14
22		1	1	1					1	1	2	5	1		1	14
23											3	1	1	1		6
24									1	1	2	2		1		7
25									2	1	1		1			5
26						1					1					2
27				1						2	1	2				6
28										1						1
29									2	1	1					4
30									1	1						2
31											3					3
32								1		1						2
33									2	2						4
34									1		1					2
35									1	1						2
36									1							1
SOM	1	3	7	11	18	28	24	27	28	31	27	15	12	3	2	237

3.7. OBTENÇÃO DO VOLUME REAL

O volume real das árvores amostradas foi estimado através do método de Hohenadl, uma vez que outros métodos iriam requerer medições suplementares. Nesse método, segundo ASSMANN², subdivide-se o tronco em 5 ou 10 secções de igual comprimento. Com 5 secções, a fórmula é a seguinte:

$$\begin{aligned} v &= \frac{\pi}{4} \cdot 0,2 \cdot L \cdot (d_{0,1}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,9}^2) \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot 0,2 \cdot L \cdot d_{0,1}^2 \cdot \left(1 + \left(\frac{d_{0,3}}{d_{0,1}}\right)^2 + \left(\frac{d_{0,5}}{d_{0,1}}\right)^2 + \left(\frac{d_{0,7}}{d_{0,1}}\right)^2 + \left(\frac{d_{0,9}}{d_{0,1}}\right)^2\right) \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot 0,2 \cdot L \cdot d_{0,1}^2 \cdot (\eta_{0,1}^2 + \eta_{0,3}^2 + \eta_{0,5}^2 + \eta_{0,7}^2 + \eta_{0,9}^2) \end{aligned}$$

onde:

L = comprimento total

$d_{0,i}$ = diâmetro na altura relativa 0,i

$\eta_{0,i}$ = quociente de forma relativo

3.8. OBTENÇÃO DO FATOR DE FORMA NATURAL

Sendo o volume de um cilindro de diâmetro $d_{0,1}$ e altura L dado pela expressão:

$$w_{0,1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0,1}^2 \cdot L$$

e como a expressão $0,2 \cdot (\eta_{0,1}^2 + \eta_{0,3}^2 + \eta_{0,5}^2 + \eta_{0,7}^2 + \eta_{0,9}^2)$ é o fator de redução aplicado a $w_{0,1}$ para a obtenção do volume real da

árvore, por definição, essa expressão é o fator de forma natural $\lambda_{0,1}$.

3.9. FUNÇÃO DE FORMA

Devido à sua grande flexibilidade e à simplicidade de sua resolução em computadores, foi utilizada, para expressar a forma do tronco, a função polinomial de quinto grau.

Sua base teórica assenta-se no teorema demonstrado por Weirstrass em 1885 e apresentado por SCARBOROUGH⁴⁵, que diz: "toda função contínua num intervalo (a,b) pode ser representada nesse intervalo, com um desejado grau de precisão, por um polinômio $P(x)$ tal que $|f(x) - P(x)| < \epsilon$ para todo valor de x nesse intervalo (a,b), onde ϵ é um valor predeterminado".

3.9.1. EXPRESSÃO MATEMÁTICA

A expressão geral de um polinômio de quinto grau é:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4 + a_5 \cdot x^5$$

Para a função de forma, as variáveis independente e dependente serão expressas como variáveis relativas:

$$\frac{d_i}{d_{0,1}} = a_0 + a_1 \cdot \frac{h_i}{h} + a_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + a_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + a_5 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^5$$

onde:

$d_i/d_{0,1}$ = diâmetro relativo

h_i/h = altura relativa

$a_0, a_1 \dots a_5$ = coeficientes do polinômio

Por convenção, $d_{0,1}$ é o diâmetro situado próximo à base e $d_{0,9}$, próximo ao topo da árvore.

3.9.2. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES

Os coeficientes de um polinômio de enésimo grau podem ser determinados através de um processo de interpolação como o de Lagrange ou o de Newton, ou através da regressão polinomial. Qualquer que seja o processo, o polinômio de grau n requer para a determinação dos coeficientes, no mínimo $(n+1)$ pares de dados (x,y) .

No presente trabalho, adotou-se o processo de interpolação polinomial de Newton, apresentado por ZÜRMUHL* e citado por PETERS⁴¹, cuja notação é:

$$y(x) = \gamma_0 + \gamma_1(x-x_0) + \gamma_2(x-x_0)(x-x_1) + \dots + \gamma_n(x-x_0)(x-x_1)\dots \\ \dots(x-x_{n-1})$$

sendo:

$$\gamma_0 = y_0$$

$$\gamma_1 = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} = x_1^{-x_0}$$

$$\gamma_2 = \frac{y_2 - y_0 - \frac{(y_1 - y_0)}{(x_1 - x_0)}(x_2 - x_0)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_0)} = \frac{x_2 x_1 - x_1 x_0}{x_2 x_0} = x_2 x_1 x_0$$

⋮

$$\gamma_n = \frac{x_n x_{n-1} \dots x_1 - x_{n-1} x_{n-2} \dots x_0}{x_n - x_0} = x_n x_{n-1} \dots x_0$$

*ZÜRMUHL, R. Praktische Mathematik für ingenieure und physiker. Springer Verlag, Berlin. Göttingen-Heidelberg, 1961.

Substituindo-se os valores de γ_i na equação inicial, tem-se:

$$y(x) = y_0 + x_1 x_0 (x - x_0) + x_2 x_1 x_0 (x - x_0) (x - x_1) + \dots$$

$$\dots + x_n x_{n-1} \dots x_0 (x - x_0) (x - x_1) \dots (x - x_{n-1})$$

Para a resolução através da computação eletrônica, pode-se seguir o esquema apresentado no quadro 04. Após computados os valores de γ_i , desenvolvendo-se a equação anterior, obtêm-se os coeficientes do polinômio de grau n .

3.10. OBTENÇÃO DO VOLUME ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE FORMA

O volume v de a até b de um sólido gerado pela revolução, em torno do eixo x , da superfície plana definida pela curva plana $y = f(x)$ e pelo segmento (a,b) , conforme GRANVILLE et al.²¹, é dado por:

$$v_x = \pi \int_a^b y^2 dx$$

Sendo a função de forma expressa genericamente por:

$$\frac{d_i}{d_{0,1}} = a_0 + a_1 \frac{h_i}{h} + a_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + a_3 \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + a_4 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + a_5 \left(\frac{h_i}{h}\right)^5$$

O raio de uma árvore com um determinado $d_{0,1}$ e h , conhecidos os coeficientes $a_0, a_1 \dots a_5$ será:

QUADRO 03 - Esquema para a determinação de γ_i

δ^5_x	δ^4_x	δ^3_x	δ^2_z	δx	i	x_i	y_i	δy	Stg1	δ^2_y	Stg2	δ^3_y	Stg3	δ^4_y	Stg4	δ^5_y	Stg5
					0	x_0	y_0										
						$x_1^{-x_0}$	$y_1^{-y_0}$	$\frac{x_1 x_0}{x_2 x_1 - x_1 x_0}$									
					1	x_1	y_1	$\frac{x_2 x_1}{x_3 x_2 - x_2 x_1}$									
						$x_2^{-x_1}$	$y_2^{-y_1}$	$\frac{x_3 x_2}{x_4 x_3 - x_3 x_2}$									
					2	x_2	y_2	$\frac{x_4 x_3}{x_5 x_4 - x_4 x_3}$									
						$x_3^{-x_2}$	$y_3^{-y_2}$	$\frac{x_5 x_4}{x_5 x_4 - x_4 x_3}$									
					3	x_3	y_3	$\frac{x_5 x_4}{x_5 x_4 - x_4 x_3}$									
						$x_4^{-x_3}$	$y_4^{-y_3}$	$\frac{x_5 x_4}{x_5 x_4 - x_4 x_3}$									
					4	x_4	y_4	$\frac{x_5 x_4}{x_5 x_4 - x_4 x_3}$									
						$x_5^{-x_4}$	$y_5^{-y_4}$	$\frac{x_5 x_4}{x_5 x_4 - x_4 x_3}$									
					5	x_5	y_5										

$$r_i = \left[a_0 d_{0,1} + a_1 d_{0,1} \frac{h_i}{h} + a_2 d_{0,1} \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + a_3 d_{0,1} \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + a_4 d_{0,1} \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + a_5 d_{0,1} \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right] / 2$$

ou fazendo:

$$a'_0 = a_0 \cdot d_{0,1}$$

$$a'_1 = a_1 \cdot d_{0,1} / h$$

$$a'_2 = a_2 \cdot d_{0,1} / h^2$$

$$a'_3 = a_3 \cdot d_{0,1} / h^3$$

$$a'_4 = a_4 \cdot d_{0,1} / h^4$$

$$a'_5 = a_5 \cdot d_{0,1} / h^5$$

$$r_i = \frac{a'_0 + a'_1 h_i + a'_2 h_i^2 + a'_3 h_i^3 + a'_4 h_i^4 + a'_5 h_i^5}{2}$$

O volume será dado por:

$$v = \pi \int_a^b \frac{(a'_0 - a'_1 h_i - a'_2 h_i^2 - a'_3 h_i^3 - a'_4 h_i^4 - a'_5 h_i^5)^2}{2^2} dx$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi}{4} \left[a_0'^2 h_i + a_0' h_i^2 + \frac{2a_0' a_2' + a_1'^2}{3} h_i^3 + \frac{a_0' a_3' + a_1' a_2'}{2} h_i^4 + \right. \\ &\quad + \frac{2a_0' a_4' + 2a_1' a_3' + a_2'^2}{5} h_i^5 + \frac{a_0' a_5' + a_1' a_4' + a_2' a_3'}{3} h_i^6 + \\ &\quad + \frac{2a_1' a_5' + 2a_2' a_4' + a_3'^2}{7} h_i^7 + \frac{a_2' a_5' + a_3' a_4'}{4} h_i^8 + \\ &\quad \left. + \frac{2a_3' a_5' + a_4'^2}{9} h_i^9 + \frac{a_4' a_5'}{5} h_i^{10} + \frac{a_5'^2}{11} h_i^{11} \right] a \end{aligned}$$

3.11. FUNÇÃO DE FORMA MÉDIA

Preliminarmente foram obtidas as médias dos diâmetros relativos das 237 árvores, determinando-se em seguida os coeficientes da função polinomial. Os pares de dados (x,y) foram os diâmetros médios relativos tomados em três diferentes combinações de alturas relativas.

a) 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0

b) 0,0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9

c) 0,0; 0,1; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0

Numa segunda etapa, as árvores foram estratificadas em classes de fator de forma natural com amplitude de 0,05. A estratificação visou o aumento da eficiência da utilização da função de forma na estimativa do volume da árvore. A eficiência dessa estimativa, analogamente ao critério utilizado em construção de tabelas de volume, conforme descreve SPURR⁴⁷, foi avaliada pela comparação entre o volume calculado pela integração da função de forma e o obtido pelo método de Hohenadl (volume real), ou seja, pela percentagem média dos desvios (P.M.D.):

$$P.M.D. = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} \right| \cdot 100$$

onde:

Y_i = volume obtido pelo método de Hohenadl

\hat{Y}_i = volume obtido pela integração da função

n = número de árvores.

O limite para o valor da P.M.D. foi estabelecido como sendo 5%.

Deve-se observar que, utilizando-se o método de interpolação de Newton para a determinação dos coeficientes do polinômio, a função resultante sempre passa pelos pares de dados utilizados.

3.12. ESTIMATIVA DO DIÂMETRO SEM CASCA A UM DÉCIMO DA ALTURA DA ÁRVORE EM FUNÇÃO DO DAP

A função de forma média expressa a forma relativa de um grupo de árvores: para se ter a função de forma absoluta de uma determinada árvore, deve-se conhecer o $d_{0,1}$ e sua altura total. Com o intuito de facilitar a obtenção do valor de $d_{0,1}$, cuja medição é pouco prática, optou-se pela sua estimativa através da regressão linear simples, onde a variável independente é o diâmetro à altura do peito e a dependente o diâmetro sem casca a um décimo da altura total. A exemplo da solução apresentada por vários autores citados por LOETSCH et al.³⁶ para casos similares, utilizou-se uma equação linear simples:

$$d_{0,1} = a_0 + a_1 d_{1,3}$$

onde:

$d_{0,1}$ = diâmetro sem casca a 0,1 da altura

$d_{1,3}$ = diâmetro com casca à altura do peito

a_0 e a_1 = coeficientes da equação da reta

Para a avaliação do ajuste obtido, foram calculados o coeficiente de correlação (r), o erro-padrão para a regressão (s), o erro-padrão em percentagem ($s\%$), que, de acordo com

PRODAN⁴³, são dados por:

$$r = \sqrt{B} = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{(\Sigma x^2 \cdot \Sigma y^2)}}$$

$$s = s_y \sqrt{(1-r^2)}$$

$$s\% \cong \frac{1,3 \cdot s_a}{\bar{y}} \cdot 100$$

3.13. ESTIMATIVA DO FATOR DE FORMA NATURAL EM FUNÇÃO DO DAP E DA ALTURA

Devido à dificuldade prática para se obter o fator de forma natural, variável utilizada para caracterizar uma função de forma-padrão ou média, empregou-se um modelo de regressão citado por PRODAN⁴² e de fácil construção:

$$\log f = a_0 + a_1 \log d + a_2 \log h$$

onde:

f = fator de forma natural (sem casca)

d = diâmetro à altura do peito (com casca)

h = altura total

a_0 , a_1 e a_2 = coeficientes da equação de regressão.

Foram calculados, ainda, o coeficiente de correlação múltipla (R), o erro-padrão de estimativa ($s_{y.x}$), o erro-padrão de estimativa em percentagem ($s_{y.x}\%$) e o valor de F. Conforme STEEL & TORRIE⁴⁸, para três variáveis, duas independentes e uma dependente, tem-se:

$$R_{y.1.2.3} = \sqrt{\frac{\hat{\Sigma \bar{Y}}^2}{\Sigma y^2}} = \sqrt{\frac{\Sigma (\hat{Y} - \bar{y})^2}{\Sigma y^2}} = \sqrt{\frac{b_1 \cdot \Sigma x_1 \cdot y + b_2 \cdot \Sigma x_2 \cdot y + b_3 \cdot \Sigma x_3 y}{\Sigma y^2}}$$

$$s_{y.1.2.3} = \sqrt{\frac{\Sigma (Y - \hat{Y})^2}{n-3-1}}$$

$$s_{y.1.2.3} \% = \frac{s_{y.1.2.3}}{\bar{y}} \cdot 100$$

$$F = \frac{MQ \text{ (regressão com 3 variáveis)}}{MQ \text{ residual}}$$

3.14. SECCIONAMENTO DO FUSTE

O seccionamento do fuste é feito com base na definição prévia das dimensões da madeira serrada, ou seja, dos comprimentos-padrão e das bitolas. Entre os vários tamanhos de madeira serrada possíveis, a preferência será sempre pelas toras que fornecem peças com as dimensões maiores.

O processamento para o seccionamento do fuste consistiu das etapas seguintes:

a) obtenção dos diâmetros mínimos limites ($d_{\text{mín.}}$) para cada classe de tora. Sendo a classe de tora definida através de um bloco de madeira serrada, cujas dimensões correspondem às de um quadrado inscrito em um círculo - retângulo de maior área inscrito em um círculo - o $d_{\text{mín.}}$ é:

$$d_{\text{mín.}} = a\sqrt{2}$$

onde:

a = lado do quadrado (bitola do bloco)

Para compensar o fato de que a secção transversal do fuste não é perfeitamente um círculo, o $d_{\min.}$ é multiplicado por 1,1 e o resultado arredondado para mais, de modo a se obter um valor inteiro em cm.

b) Cálculo dos comprimentos de cada classe de tora, que é a diferença entre as alturas correspondentes aos $d_{\min.}$ de cada classe de tora e da classe imediatamente seguinte, como ilustra a figura 04.

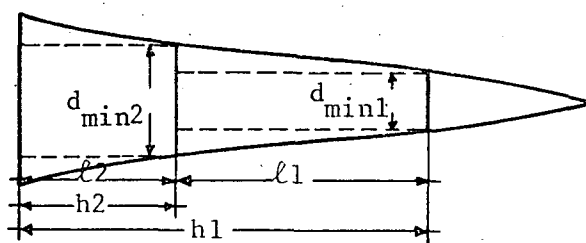


Figura 04: Comprimento da tora

c) Determinação dos comprimentos-padrão de cada classe de tora, iniciando-se da base para o topo do fuste.

c.1) Se o comprimento calculado da tora for diferente dos comprimentos-padrão, é feita a redução para o comprimento-padrão inferior mais próximo e a diferença acrescida ao comprimento calculado da tora da classe seguinte. Por exemplo, se o comprimento calculado para a tora de classe I ($d_{\min.} = 12$ cm) for igual a 2,75 m e para a de classe II ($d_{\min.} = 16$ cm) igual a 3,15 m e os comprimentos-padrão 2,1,

2,4, 2,7, 3,0 e 3,3 m, os comprimentos-padrão para a tora de classe I e II serão 2,7 e 3,0 m, respectivamente.

c.2) Se uma classe de tora apresenta um comprimento superior ao comprimento-padrão máximo, o seccionamento é feito de modo a se obter uma ou mais toras com o comprimento-padrão máximo e o torete restante, se maior ou igual ao mínimo admissível, seccionado como na etapa c.1), se menor, simplesmente acrescido ao comprimento da tora de classe seguinte.

c.3) Havendo várias secções de uma mesma classe de tora, como descreve o item anterior, o torete mais curto sempre fica mais próximo à base e os demais acima.

c.4) As etapas c.1), c.2) e c.3) repetem-se para cada classe de tora.

Para se encontrar o comprimento referente a um diâmetro, utilizou-se de um algoritmo iterativo, onde se define um intervalo para as alturas, sendo então estimados os diâmetros para cada uma das alturas contidas nesse intervalo. As estimativas repetem-se até encontrar-se um diâmetro igual ou próximo a um diâmetro pré-definido. Quando isso ocorre, busca-se a altura a que correspondeu o diâmetro estimado. A precisão do resultado deve ser definida antes da pesquisa dos diâmetros.

d) Obtenção dos volumes de cada tora seccionada, de cilindro correspondente ao diâmetro na ponta fina, do bloco central de madeira serrada e das peças resultantes do aproveitamento.

mento das costaneiras: os volumes são dados pelas fórmulas seguintes:

$$VT = \frac{\pi}{4} \int_a^b f(x)^2 dx - \frac{d^2}{4} \cdot e_1$$

$$VC = \frac{\pi d^2}{4} (L - e_1)$$

$$VB = a^2 (L - e_1)$$

$$VA = \left[2a(a_0 - e_2) + 2(a_1 - e_2)(a_2 - e_2) \right] \cdot (L - e_1)$$

onde:

VT = volume da tora

VC = volume do cilindro

VB = volume do bloco

VA = volume das peças laterais

d = diâmetro na ponta fina

L = comprimento da tora

f(x) = função de forma

e_1 = espessura do corte (serra) transversal

e_2 = espessura do corte (serra) longitudinal

a = bitola do bloco

a_0 , a_1 e a_2 = bitolas das peças laterais.

e) Obtenção do volume máximo das peças de madeira serrada: o volume de madeira serrada obtido de uma tora corresponde ao volume das peças serradas, que são paralelepípedos inscritos em um cilindro, cujo diâmetro é o da ponta fina da tora. Para que a somatória desses paralelepípedos seja máxima, considerando-se o seu comprimento constante, as arestas

de sua base devem ser mínimas. Isso, obviamente, não é praticável. Foram consideradas, então, duas alternativas:

- 1) a obtenção de uma única peça inicial (bloco) de madeira serrada.;
- 2) a obtenção de uma peça inicial (bloco) mais duas ou quatro peças laterais.

No primeiro caso, o volume máximo será função das dimensões do retângulo de maior área inscrito num círculo, uma vez que o comprimento é constante. As dimensões foram obtidas da aplicação de derivada na determinação de máximos de uma função.

Da figura 05, sendo S a área do retângulo inscrito, tem-se:

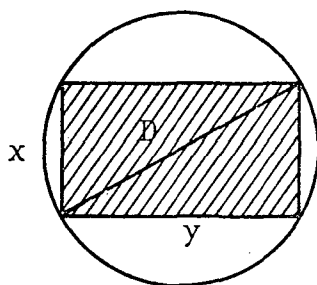


Figura 05: Retângulo inscrito no círculo

$$S = x \cdot y$$

$$x^2 + y^2 = D^2 \therefore y^2 = D^2 - x^2 \therefore y = \sqrt{D^2 - x^2}$$

$$S = x \sqrt{D^2 - x^2}$$

$$S' = \sqrt{D^2 - x^2} + x \cdot \frac{-2x}{2\sqrt{D^2 - x^2}}$$

$$S' = \frac{D^2 - x^2 - x^2}{\sqrt{D^2 - x^2}}$$

Fazendo-se $S' = 0$, $D^2 - 2x^2 = 0 \therefore x = \frac{D}{2}\sqrt{2} = R\sqrt{2}$. Substituindo $\frac{D}{2}\sqrt{2}$ em S'' , tem-se que $S'' < 0$. Portanto, o retângulo de maior área é o quadrado.

No segundo caso, o volume máximo dependerá das dimensões das peças laterais, que correspondem aos lados de um retângulo de máxima área inscrito no segmento circular definido pela secção transversal de uma costaneira. Da figura 06, tem-se que:

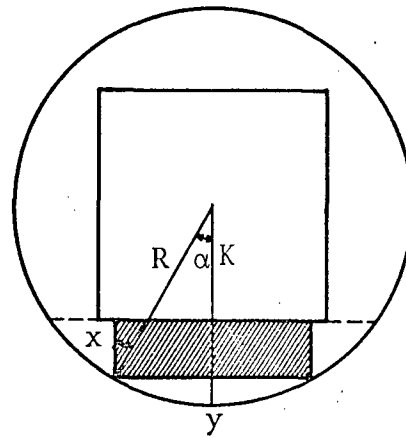


Figura 06: Retângulo inscrito num segmento circular.

$$S = x \cdot y$$

$$\cos \alpha = \frac{k + x}{R}$$

$$\sin \alpha = \frac{y/2}{R}$$

$$x = R \cdot \cos \alpha - k$$

$$y = 2R \cdot \sin \alpha$$

$$S = (R \cos \alpha - k) (2R \cdot \sin \alpha)$$

$$S' = (R \cos \alpha - k) (2R \cdot \cos \alpha) + 2 \cdot R \cdot \sin \alpha (-R \cdot \sin \alpha)$$

$$S' = 4R^2 \cdot \cos^2 \alpha - 2kR \cos \alpha - 2R^2$$

$$\text{Fazendo-se } z = \cos \alpha$$

$$S' = 4R^2 \cdot z^2 - 2kRz - 2R^2$$

$$z = \frac{2 \cdot k \cdot R \pm \sqrt{4k^2 \cdot R^2 + 32R^4}}{8R^2}$$

Como $z = \cos \alpha$

$$\alpha = \cos^{-1} z$$

Portanto, os lados do retângulo de maior área inscrito no segmento circular dependem do ângulo α , e esse, por sua vez, é função das constantes k (lado do bloco) e R (raio do círculo).

Na figura 07 tem-se representada esquematicamente uma tora seccionada.

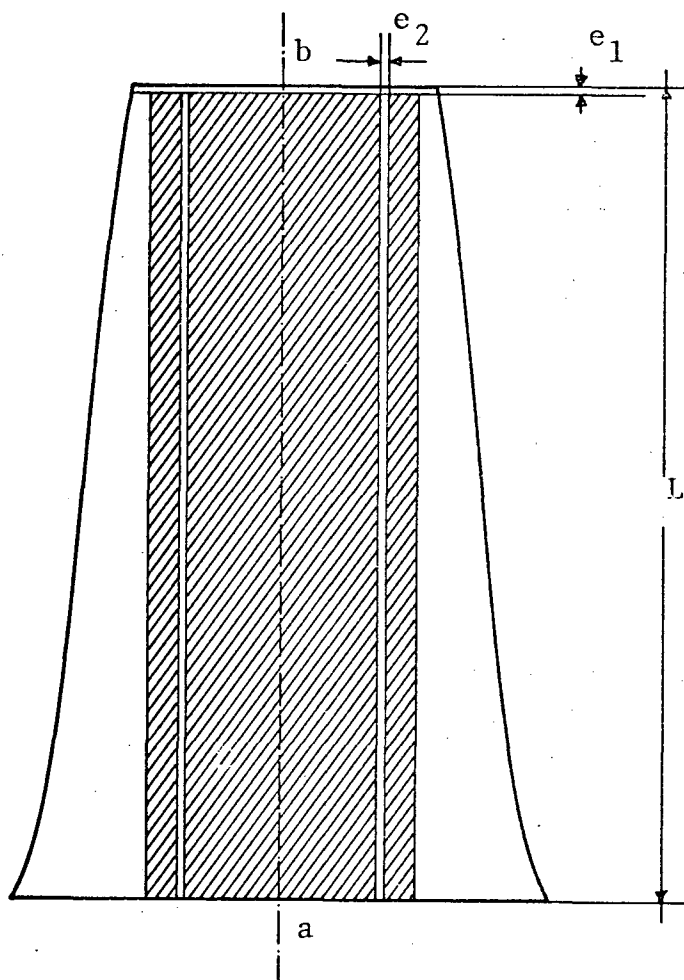


Figura 07: Representação esquemática de uma tora seccionada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. FUNÇÕES DE FORMA

A função de forma polinomial foi obtida, preliminarmente, para as médias dos diâmetros relativos de todas as árvores, considerando-se as três diferentes combinações de pontos, ao longo do fuste. As três funções e seus gráficos estão no quadro 05 e na figura 08. Das três combinações de pontos utilizados, a terceira foi a que possibilitou uma melhor estimativa dos volumes individuais das árvores, com a percentagem média dos desvios igual a 9,71, seguindo-se a segunda com a P.M.D. igual a 11,47 e a primeira com a P.M.D. igual a 13,92. As diferenças na estimativa do volume individual através da função de forma e a própria estimativa dos diâmetros em função da altura relativa causadas pelas diferentes combinações de alturas relativas devem-se à influência da curvatura pronunciada da função de forma próxima a um décimo da altura da árvore e ainda à fixação ou não do diâmetro relativo igual a zero na extremidade do fuste. Omitindo-se, quando da determinação dos coeficientes, o par de dados correspondente à altura 0,1 da altura total, a função tende a superestimar o diâmetro relativo nesse ponto e conseqüentemente a superestimar o volume. A utilização da função de forma para o cálculo do volume individual leva a superestimar o volume das árvores com fator de forma natural menor que o médio e a subestimar o volume daquelas com fator de forma acima. Essa tendência le-

QUADRO 04: Valores dos coeficientes das funções de forma genérica

COEFICIENTES	FUNÇÃO 1			FUNÇÃO 2			FUNÇÃO 3		
	DO.OH	DO.2H	DO.4H	DO.OH	DO.1H	DO.3H	DO.OH	DO.1H	DO.4H
	DO.6H	DO.8H	D1.OH	DO.5H	DO.7H	DO.9H	DO.6H	DO.8H	D1.OH
a_0	1,3410			1,3410			1,3410		
a_1	-3,7577			-5,4428			-5,1064		
a_2	12,1146			25,7119			20,7691		
a_3	-21,5731			-59,7002			-41,5233		
a_4	16,1981			60,9525			35,8674		
a_5	-4,3230			-23,0581			-11,3478		

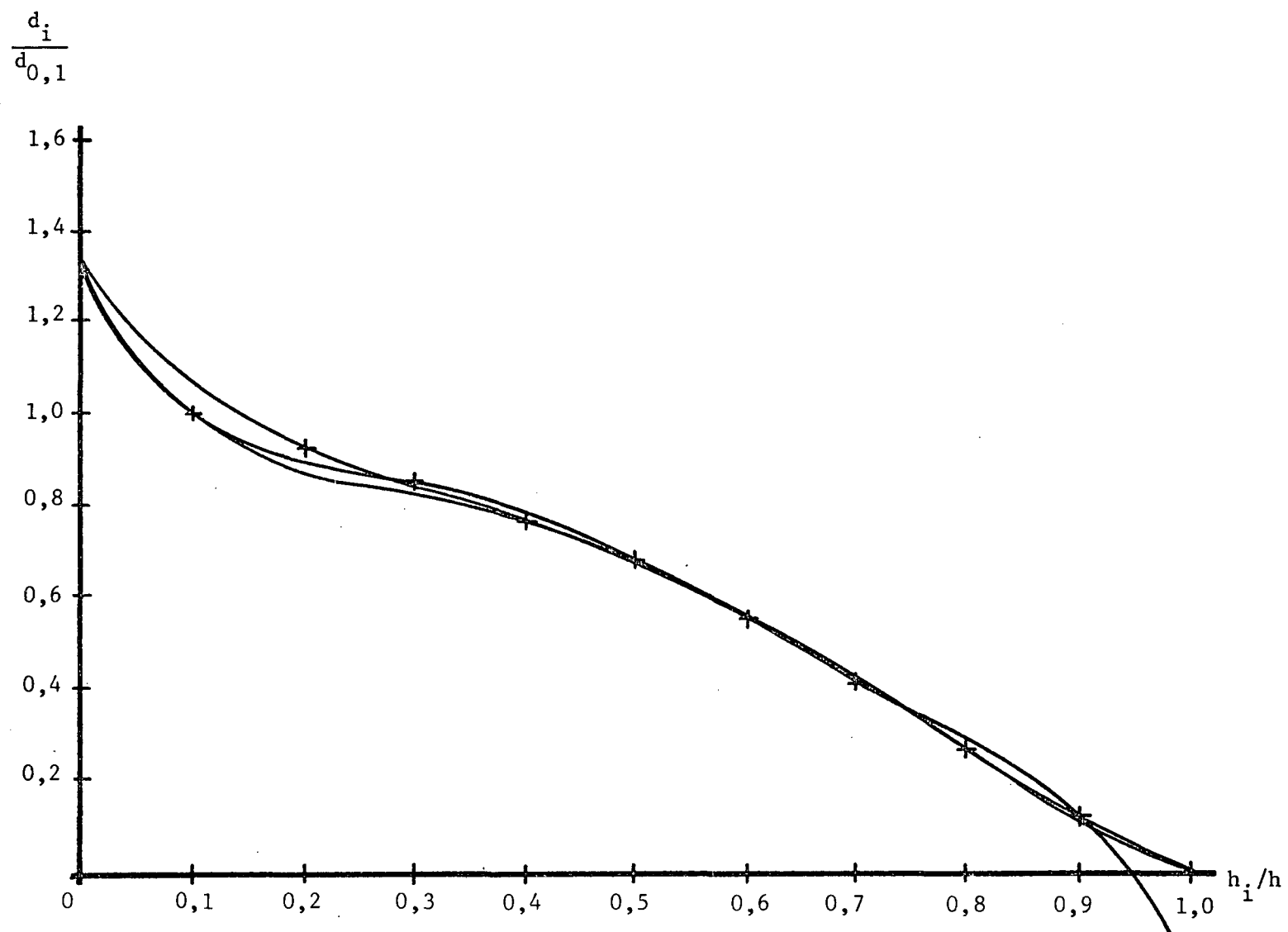


Figura 08: Funções genéricas de forma

vou à estratificação dos dados em função do fator de forma natural, pois, agrupando-se árvores com fator de forma próximos e portanto, de formas semelhantes, a definição de uma função de forma média dessas árvores torna-se mais consistente. Para os dados utilizados nesse trabalho, encontraram-se sete diferentes classes de forma, tendo sido a amplitude de cada classe igual a 0,05. Para cada classe foi definida uma função de forma relativa: com a estratificação a P.M.D. média das sete classes de fator de forma foi igual a 2,81 %, sendo a menor igual a 0,44% e a maior 3,94%. Os coeficientes de cada polinômio e a representação gráfica das funções estão no quadro 06 e na figura 09, respectivamente.

4.2. REGRESSÃO LINEAR SIMPLES PARA ESTIMAR O DIÂMETRO SEM CASCA A UM DÉCIMO DA ALTURA DA ÁRVORE EM FUNÇÃO DO DAP

A distribuição dos pontos definidos pelo diâmetro sem casca a um décimo da altura da árvore ($d_{0,1}$) e pelo diâmetro com casca à altura do peito (DAP) em um eixo de coordenadas cartesianas estão na figura 10. A observação desse gráfico mostra que os pontos tendem a formar uma reta. Através do método dos mínimos quadrados foram encontrados os coeficientes a_0 e a_1 da equação de regressão. A equação encontrada foi:

$$d_{0,1} = -0,850438 + 0,897530 \cdot \text{DAP}$$

Para os dados utilizados, obteve-se:

$$r = 0,998$$

$$s = \pm 0,487 \text{ cm}$$

$$s \% = 3,947\%$$

QUADRO 05: Valores dos coeficientes das funções de forma por classe de fator de forma

COEFL.- CIENTES	CLASSES DE FATOR DE FORMA NATURAL						
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5	CLASSE 6	CLASSE 7
	0,30 0,35	0,35 0,40	0,40 0,45	0,45 0,50	0,50 0,55	0,55 0,60	0,60 0,65
a_0	1,4720	1,4670	1,4190	1,3190	1,2670	1,3040	1,4660
a_1	-6,6791	-6,8429	-6,2595	-4,7689	-4,0912	-4,7797	-7,1556
a_2	23,9985	26,5440	25,3263	19,3286	17,6330	21,5030	29,7976
a_3	-48,4353	-52,6089	-50,5464	-38,5925	-37,5941	-45,0329	-52,0644
a_4	45,1956	46,0377	43,6679	32,9629	35,0184	41,1435	37,4664
a_5	-15,5517	-14,5968	-13,6072	-10,2490	-12,2332	-14,1380	-9,5100

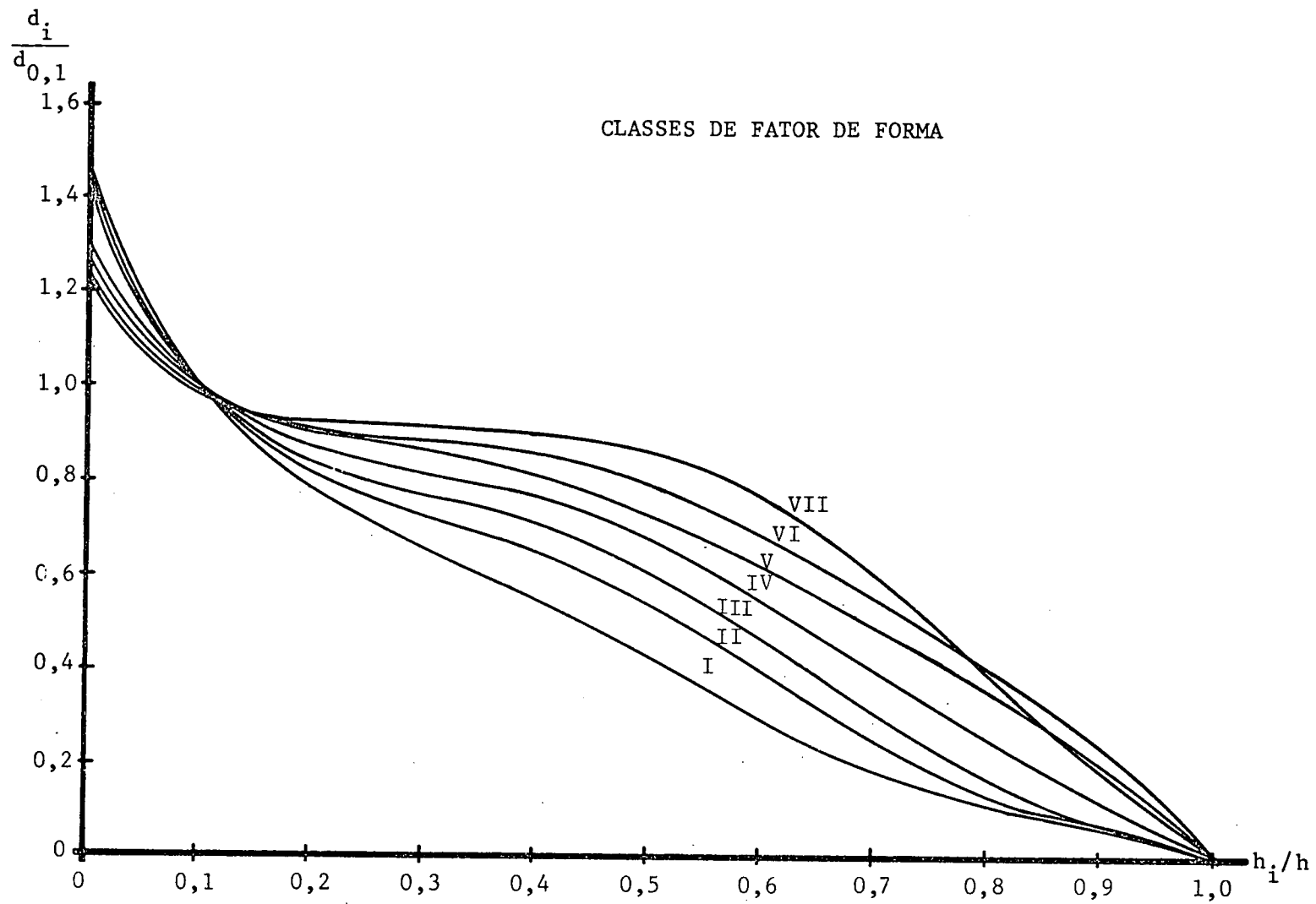


Figura 09: Funções de forma.

o que sugere ser a equação da reta adequada para descrever a relação entre essas duas variáveis..

4.3. REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA ESTIMAR O FATOR DE FORMA NATURAL EM FUNÇÃO DO DAP E DA ALTURA

Através do método dos mínimos quadrados, foram determinados os coeficientes do modelo $\log f = a_0 + a_1 \cdot \log d + a_2 \cdot \log h$. A equação encontrada foi:

$$\log f = -0,638287 - 0,154169 \cdot \log d + 0,444878 \cdot \log h$$

ou

$$f = 10^{(-0,638287 - 0,154169 \cdot \log d + 0,444878 \cdot \log h)}$$

O coeficiente de correlação múltipla, o erro-padrão de estimativa e o valor de F encontrados foram:

$$R_{y.1.2.3} = 0,774$$

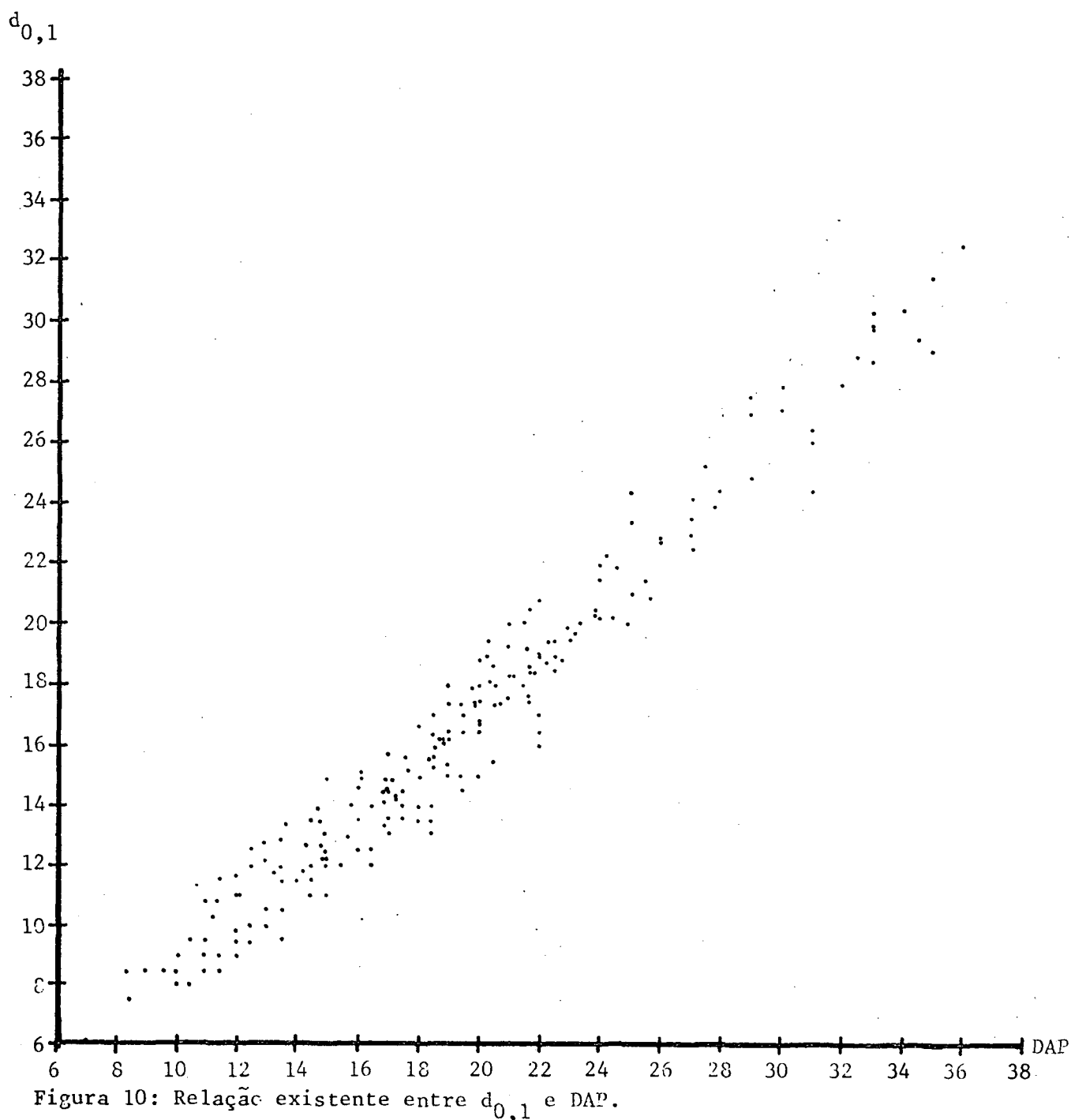
$$s_{y.1.2.3} = 0,034 \quad \text{ou} \quad 10,34\%$$

$$F_{2/234} = 174,723^{**}$$

A correlação para os dados usados foi aceitável, por não ser o objetivo primordial deste trabalho a definição de um modelo de regressão para estimar o fator de forma natural em função do DAP e da altura total da árvore, não foram testados outros modelos citados na literatura. A equação encontrada está representada na figura 11.

4.4. PROGRAMA PARA O SECCIONAMENTO DO FUSTE

Para o seccionamento do fuste, foi desenvolvido um programa de computação na linguagem BASIC; para o seu processamento basta entrarem os valores das variáveis diâmetro à altura do peito e altura total, os comprimentos-padrão e dimensões dos blocos de madeira serrada. O resultado é apresentado em forma de quadro, como mostram os exemplos contidos no anexo. O fluxograma relativo a este programa está na Figura 12.



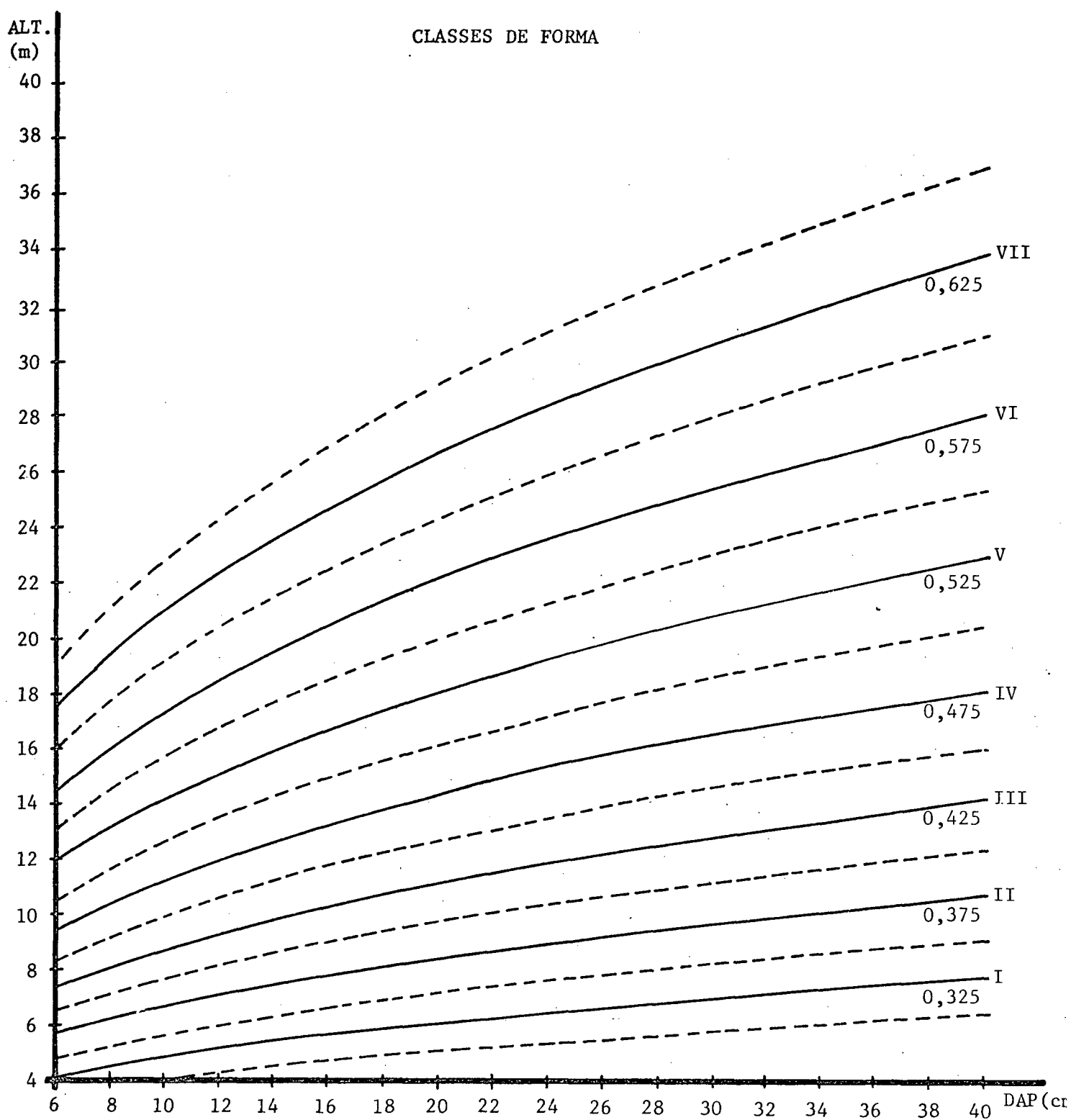


Figura 11: Representação da equação que estima o fator de forma natural em função do diâmetro à altura do peito e da altura.

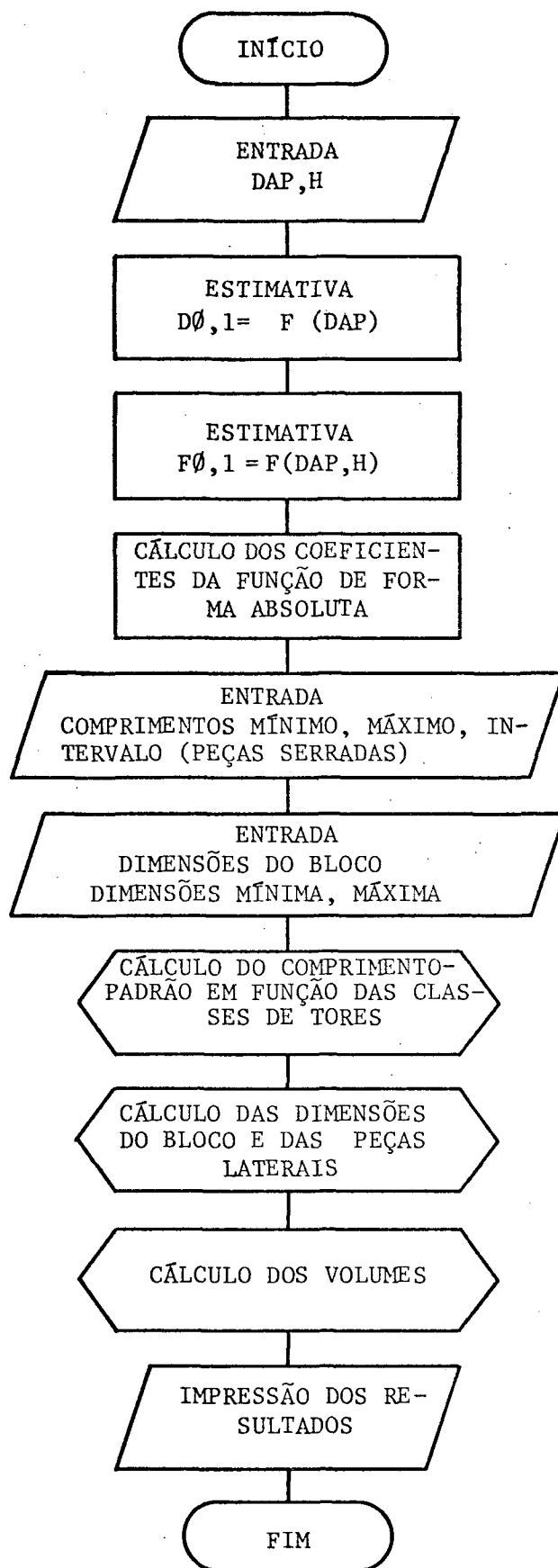


Figura 12: Fluxograma

```

10 REM SECCIONAMENTO DO FUSTE A PARTIR DA FUNCAO DE FORMA POLINOMIAL
20 REM PROGRAMADOR BORGES JUN/1981
30 DIM HS(50,2),GS(60,10),DS(50,2),KI(50),AS(50),ES(6),CS(50),RS(10)
40 DIM SS(10),MS(10),ES(10),OS(10),TS(10),LS(10),NS(10,5),FS(10,5)
50 DIM VS(10,5),US(10,5),WS(10,5),ZS(10,5),QS(2),PI(5),YS(50)
60 DIM XS(10,5),IS(10,5),JS(10,5)
70 REM ENTRADA DE DADOS
80 DISP "COLOCAR FITA DE DADOS";
90 STOP
100 DISP "NUM ARQ COEF POL";
110 INPUT Z1
120 DISP "ENTRADA D(CM)/H(M) MAN=0 FIT=1";
130 INPUT C1
140 DISP "NUM DE OBS";
150 INPUT N
160 IF C1=1 THEN 220
170 FOR I=1 TO N
180 DISP "DAPCC(CM),ALT(M)*I";
190 INPUT HI(1,1),HI(1,2)
200 NEXT I
210 GOTO 250
220 DISP "NUM ARQ DADOS DAP/ALT";
230 INPUT Z2
240 LOAD DATA Z2,H
250 LOAD DATA Z1,G
260 REM ESTIMATIVA DO DSC0.1H=F(DAPCC)
270 REM VERIFICACAO DOS COEFICIENTES
280 DISP "VERIFICAR COEFICIENTES L310,CONT 300";
290 STOP
300 FOR I=1 TO N
310 DI(1,1)=-0.865104+0.900442*HI(1,1)
320 DI(1,2)=HI(1,2)
330 NEXT I
340 REM DETERMINACAO DA CLASSE PARA A FUNCAO DE FORMA
350 DISP "LIM INF DA 1A CLASSE DE F0.1H";
360 INPUT L
370 FOR I=1 TO N
380 AI(1)=10^((-0.638287-0.154169*LGT(DI(1,1))+0.444878*LGT(DI(1,2)))
390 KI(1)=INT((AI(1)-L)/0.05+1)
400 NEXT I
410 REM CALCULOS PARA CADA OBSERVACAO
420 FOR IO=1 TO N
430 REM COEFICIENTES PARA A FUNCAO DE FORMA ABSOLUTA
440 E=0
450 FOR I=1 TO 6
460 EI(1)=GI(1,KI(1))*(DI(10,1)/100)/DI(10,2)^E
470 E=E+1
480 NEXT I
490 REM IMPRIMIR DADOS INICIAIS
500 WRITE (15,3370)320
510 WRITE (15,1050)
520 WRITE (15,530)
530 FORMAT 5/
540 PRINT TAB25"SECCIONAMENTO DO FUSTE EM TORAS"
550 PRINT
560 PRINT
570 PRINT TAB10" ARV DAPCC DSC0.1 ALT.T FFHOM CFHOM"
580 PRINT TAB10" (CM) (CM) (M)"
590 WRITE (15,600)IO,HI(10,1),DI(10,1),DI(10,2),AI(10),KI(10)

```

```

600 FORMAT 1/,11X,F5.0,1X,3F7.1,F7.3,F7.0
610 WRITE (15,620)
620 FORMAT 2/
630 PRINT TAB10"COEFICIENTES DA FUNCAO DE FORMA"
640 PRINT
650 FOR I=1 TO 6
660 PRINT TAB10"B("I")="B[I]
670 NEXT I
680 REM ESQUEMA PARA O SECCIONAMENTO
690 IF I0>1 THEN 1030
700 DISP "COMP MIN,MAX DA TORA(M)";
710 INPUT L1,L2
720 DISP "INTERVALO ENTRE COMP(M)";
730 INPUT L0
740 N0=INT((L2-L1)/L0)+1
750 FOR I=1 TO N0
760 C[I]=L1+(I-1)*L0
770 NEXT I
780 REM CLASSES DE TORAS
790 DISP "NO DE CLASSES DE TORAS,MAX=10";
800 INPUT N1
810 DISP "ESPESSURA DA SERRA E3,E4 (MM)";
820 INPUT E3,E4
830 E1=E3/1000
840 E2=E4/1000
850 DISP "UNID DIMENSOES CM=0 POL=1";
860 INPUT N2
870 FOR I=1 TO N1
880 DISP "DIM BLOCO A X B,CLASSE (P/)"I;
890 INPUT R[I],S[I]
900 IF N2=1 THEN 930
910 M[I]=(INT(SQR((R[I]*1.1)^2+(S[I]*1.1)^2))+1)/100
920 GOTO 940
930 M[I]=(INT(SQR((R[I]*2.794)^2+(S[I]*2.794)^2))+1)/100
940 NEXT I
950 DISP "DIM AXB MINIMAS (A<=B) ";
960 INPUT R5,R6
970 IF N2=1 THEN 1010
980 R5=R5/100
990 R6=R6/100
1000 GOTO 1030
1010 R5=R5*2.54/100
1020 R6=R6*2.54/100
1030 WRITE (15,620)
1040 WRITE (15,1050)
1050 FORMAT 130"*"
1060 WRITE (15,620)
1070 PRINT TAB25"ESQUEMA PARA O SECCIONAMENTO"
1080 WRITE (15,620)
1090 PRINT TAB10"COMPRIMENTO MINIMO ADMISSIVEL(M)="L1
1100 PRINT TAB10"COMPRIMENTO MAXIMO ADMISSIVEL(M)="L2
1110 PRINT TAB10"COMPRIMENTOS-PADRAO (M) =";
1120 FOR I=1 TO N0
1130 WRITE (15;1140)C[I];
1140 FORMAT F5.1
1150 NEXT I
1160 PRINT
1170 PRINT TAB10"NUMERO DE CLASSES DE TORAS="N1
1180 PRINT TAB15"CLASSE    DIMENSOES    DIAM MINIMO"
1190 IF N2=1 THEN 1220

```

```

1200 PRINT TAB26*(CM)          (CM)"
1210 GOTO 1230
1220 PRINT TAB26*(POL)         (CM)"
1230 FOR I=1 TO N1
1240 WRITE (15,1250)I,R[I];
1250 FORMAT 15X,F6.0,1X,F5.1
1260 PRINT " X";
1270 WRITE (15,1280)S[I],M[I]*100
1280 FORMAT F4.1,4X,F7.1
1290 NEXT I
1300 PRINT
1310 PRINT TAB10"DIM MIN PARA O SECCIONAMENTO ="R5"X"R6
1320 WRITE (15,620)
1330 PRINT TAB10"ESPESSURA (MM) E1="E3
1340 PRINT TAB10"ESPESSURA (MM) E2="E4
1350 MAT N=ZER
1360 MAT F=ZER
1370 MAT V=ZER
1380 MAT U=ZER
1390 MAT W=ZER
1400 MAT Z=ZER
1410 MAT E=ZER
1420 MAT O=ZER
1430 MAT T=ZER
1440 MAT X=ZER
1450 MAT I=ZER
1460 MAT J=ZER
1470 MAT P=ZER
1480 N3=0
1490 REM COMPRIMENTO TOTAL CORRESPONDENTE AO DIAM DEF P/ CLASSE DE TORA
1500 FOR I=1 TO N1
1510 GOSUB 2840
1520 E[I]=W3
1530 REM O COMP P/ A CLASSE 1 E INF AO MIN ADM:NAO HA TORA
1540 IF E[I]<C[I] THEN 5020
1550 REM HA PELO MENOS UMA TORA
1560 IF E[I] >= C[I] THEN 1590
1570 E[I]=0
1580 GOTO 1620
1590 N3=N3+1
1600 NEXT I
1610 REM COMPRIMENTO INICIAL PARA CADA CLASSE DE TORA
1620 FOR I=1 TO N3
1630 L[I]=E[I]-E[I+1]
1640 NEXT I
1650 REM SECCIONAMENTO PARA CADA CLASSE DE TORA
1660 FOR I=N3 TO 1 STEP -1
1670 L[I]=L[I]+O[I+1]
1680 IF L[I]<C[I] THEN 2570
1690 FOR J=1 TO N0
1700 IF L[I]=C[J] THEN 2620
1710 IF L[I]>C[J] THEN 1780
1720 N[I,1]=C[J-1]
1730 T[I]=T[I+1]+C[J-1]
1740 P[I]=1
1750 F[I,1]=FNA(T[I])
1760 O[I]=L[I]-N[I,1]
1770 GOTO 2670
1780 NEXT J
1790 REM CASO EM QUE O COMPRIMENTO E MAIOR QUE O COMPRIMENTO-PADRAO MAX

```

```

1800 C[N0+1]=0
1810 N4=INT(L[I]/C[N0])
1820 P[I]=N4
1830 N5=L[I]/C[N0]-N4
1840 N6=N5*C[N0]
1850 IF N6=0 THEN 2370
1860 FOR K=1 TO N0
1870 IF N6=C[K] THEN 1900
1880 IF N6>C[K] AND N6<C[K+1] THEN 1940
1890 GOTO 2340
1900 N[I,1]=C[K]
1910 P[I]=N4+1
1920 GOSUB 1990
1930 GOTO 2810
1940 N[I,1]=C[K]
1950 O[I]=N6-C[K]
1960 P[I]=N4+1
1970 GOSUB 1990
1980 GOTO 2810
1990 F[I,1]=FNA(N[I,1]+T[I+1])
2000 W1=T[I+1]
2010 W2=N[I,1]+T[I+1]
2020 GOSUB 2950
2030 V[I,1]=W1-F[I,1]^2*(PI/4)*E1
2040 U[I,1]=F[I,1]^2*(PI/4)*(N[I,1]-E1)
2050 GOSUB 3140
2060 W[I,1]=R1*S1*(N[I,1]-E1)
2070 R=F[I,1]/2
2080 GOSUB 3220
2090 X[I,1]=B2
2100 IF A1<R5 AND A2<R6 THEN 2140
2110 I[I,1]=A1
2120 J[I,1]=A2
2130 Z[I,1]=(2*S1*B2+2*A1*A2)*(N[I,1]-E1)
2140 FOR K1=1 TO N4
2150 N[I,K1+1]=C[N0]
2160 F[I,K1+1]=FNA(N[I,K1+1]*K1+N[I,1]+T[I+1])
2170 W1=T[I+1]+N[I,1]*(K1-1)*C[N0]
2180 W2=T[I+1]+N[I,1]+K1*C[N0]
2190 GOSUB 2950
2200 V[I,K1+1]=W1-F[I,K1+1]^2*(PI/4)*E1
2210 U[I,K1+1]=F[I,K1+1]^2*(PI/4)*(N[I,K1+1]-E1)
2220 GOSUB 3140
2230 W[I,K1+1]=R1*S1*(N[I,K1+1]-E1)
2240 R=F[I,K1+1]/2
2250 GOSUB 3220
2260 X[I,K1+1]=B2
2270 IF A1<R5 AND A2<R6 THEN 2310
2280 I[I,K1+1]=A1
2290 J[I,K1+1]=A2
2300 Z[I,K1+1]=(2*S1*B2+2*A1*A2)*(N[I,K1+1]-E1)
2310 NEXT K1
2320 T[I]=T[I+1]+N[I,1]+N4*C[N0]
2330 RETURN
2340 NEXT K
2350 IF I=1 THEN 2380
2360 O[I]=N6
2370 T[I]=T[I+1]+N4*C[N0]
2380 FOR K2=1 TO N4
2390 N[I,K2]=C[N0]

```

```

2400 F[I,K2]=FNA(C[N0]*K2+T[I+1])
2410 W1=T[I+1]+(K2-1)*C[N0]
2420 W2=T[I+1]+K2*C[N0]
2430 GOSUB 2950
2440 V[I,K2]=V1-F[I,K2]^2*(PI/4)*E1
2450 U[I,K2]=F[I,K2]^2*(PI/4)*(N[I,K2]-E1)
2460 GOSUB 3140
2470 W[I,K2]=R1*S1*(N[I,K2]-E1)
2480 R=F[I,K2]/2
2490 GOSUB 3220
2500 X[I,K2]=B2
2510 IF A1<R5 AND A2<R6 THEN 2550
2520 I[I,K2]=A1
2530 J[I,K2]=A2
2540 Z[I,K2]=(2*S1*B2+2*A1*A2)*(N[I,K2]-E1)
2550 NEXT K2
2560 GOTO 2810
2570 N[I,1]=0
2580 T[I]=T[I+1]
2590 F[I,1]=0
2600 O[I]=L[I]
2610 GOTO 2810
2620 N[I,1]=C[J]
2630 T[I]=T[I+1]+C[J]
2640 P[I]=1
2650 F[I,1]=FNA(T[I])
2660 O[I]=0
2670 W1=T[I+1]
2680 W2=T[I+1]+N[I,1]
2690 GOSUB 2950
2700 V[I,1]=V1-F[I,1]^2*(PI/4)*E1
2710 U[I,1]=F[I,1]^2*(PI/4)*(N[I,1]-E1)
2720 GOSUB 3140
2730 W[I,1]=R1*S1*(N[I,1]-E1)
2740 R=F[I,1]/2
2750 GOSUB 3220
2760 X[I,1]=B2
2770 IF A1<R5 AND A2<R6 THEN 2810
2780 I[I,1]=A1
2790 J[I,1]=A2
2800 Z[I,1]=(2*S1*B2+2*A1*A2)*(N[I,1]-E1)
2810 NEXT I
2820 GOTO 3290
2830 REM SUBROTINA PARA ACHAR COMP DA TORA DADO O DIAM
2840 X=0
2850 IF INT(FNA(X))<N[I] THEN 2880
2860 X=X+1
2870 GOTO 2850
2880 X=X-1
2890 IF FNA(X)<N[I] THEN 2920
2900 X=X+0.01
2910 GOTO 2890
2920 W3=X-0.01
2930 RETURN
2940 REM SUBROTINA PARA CALCULAR O VOLUME POR INTEGRACAO DA FUNCAO DE FORMA
2950 FOR L3=2 TO 1 STEP -1
2960 IF L3=2 THEN 2980
2970 GOTO 3000
2980 X=W2
2990 GOTO 3010

```

```

3000 X=W1
3010 Q[L3]=B[1]^2*X+B[1]*B[2]*X^2+((2*B[1]*B[3]+B[2]^2)/3)*X^3
3020 P1=2*B[1]*B[5]
3030 Q[L3]=Q[L3]+((B[1]*B[4]+B[2]*B[3])/2)*X^4+((P1+2*B[2]*B[4]+B[3]^2)/5)*X^5
3040 Q[L3]=Q[L3]+((B[1]*B[6]+B[2]*B[5]+B[3]*B[4])/3)*X^6
3050 Q[L3]=Q[L3]+((2*B[2]*B[6]+2*B[3]*B[5]+B[4]^2)/7)*X^7
3060 Q[L3]=Q[L3]+((B[3]*B[6]+B[4]*B[5])/4)*X^8+((2*B[4]*B[6]+B[5]^2)/9)*X^9
3070 Q[L3]=Q[L3]+((B[5]*B[6])/5)*X^10+(B[6]^2/11)*X^11
3080 Q[L3]=Q[L3]*(P1/4)
3090 IF L3=2 THEN 3120
3100 V1=Q[2]-Q[1]
3110 GOTO 3130
3120 NEXT L3
3130 RETURN
3140 IF N2=1 THEN 3180
3150 R1=R[1]/100
3160 S1=S[1]/100
3170 GOTO 3200
3180 R1=R[1]*2.54/100
3190 S1=S[1]*2.54/100
3200 RETURN
3210 REM SUB-ROTIMA DIMENSÕES DAS PEÇAS LATERAIS
3220 B1=SQR(R^2-(S1/2)^2)-(S1/2+E2)
3230 B2=(INT(B1/R5))*R5
3240 Z0=((2*(R1/2)*R+SQR(4*(R1/2)^2*R^2+32*R^4))/(8*R^2)
3250 A0=ATN(SQR(1-Z0^2)/Z0)
3260 A1=INT(((R*COS(A0)-R1/2)-E2)/R5)*R5
3270 A2=INT(2*R*SIN(A0)/R5)*R5
3280 RETURN
3290 REM DETERMINAR SE HA SUB-TORAS E SUA QUANTIDADE
3300 P2=0
3310 FOR I=1 TO N3
3320 IF P[I]<P2 THEN 3340
3330 P2=P[I]
3340 NEXT I
3350 REM IMPRESSAO DOS RESULTADOS DO SECCIONAMENTO
3360 WRITE (15,3370)320
3370 FORMAT B
3380 WRITE (15,620)
3390 WRITE (15,1050)
3400 WRITE (15,620)
3410 PRINT TAB25"RESULTADOS DO SECCIONAMENTO DO FUSTE"
3420 WRITE (15,620)
3430 PRINT TAB10;
3440 WRITE (15,3450)
3450 FORMAT 80"="
3460 PRINT TAB50"CLASSES DE TORAS"
3470 PRINT TAB40;
3480 FOR I=1 TO N3
3490 WRITE (15,3500)" CLASSE*I;
3500 FORMAT 1X,F2.0
3510 NEXT I
3520 PRINT
3530 FOR J=1 TO P2
3540 PRINT TAB10"COMPRIMENTO DA TORA (M)
3550 FOR I=1 TO N3
3560 IF H[I,J]=0 THEN 3600
3570 WRITE (15,3580)H[I,J];
3580 FORMAT F10.1
3590 GOTO 3620

```



```

3600 WRITE (15,3610)"          *;
3610 FORMAT F1.0
3620 NEXT I
3630 PRINT
3640 PRINT TAB10"DIAMETRO NA PONTA FINA (CM) ";
3650 FOR I=1 TO N3
3660 IF FII,J1=0 THEN 3690
3670 WRITE (15,3580)FII,J1*100;
3680 GOTO 3700
3690 WRITE (15,3610)"          *;
3700 NEXT I
3710 PRINT
3720 PRINT TAB10"BITOLAS-BLOCO (POL) ";
3730 FOR I=1 TO N3
3740 IF NII,J1=0 THEN 3800
3750 WRITE (15,1140)SII;
3760 FORMAT F4.1
3770 PRINT "X";
3780 WRITE (15,3760)RII;
3790 GOTO 3810
3800 WRITE (15,3610)"          *;
3810 NEXT I
3820 PRINT
3830 C5=0
3840 FOR I=1 TO N3
3850 IF XII,J1=0 THEN 3870
3860 C5=1
3870 NEXT I
3880 IF C5=0 THEN 3990
3890 PRINT TAB10"BITOLAS-PECAS LAT1 (POL) (2) ";
3900 FOR I=1 TO N3
3910 IF XII,J1=0 THEN 3960
3920 WRITE (15,1140)SII;
3930 PRINT "X";
3940 WRITE (15,3760)XII,J1/0.0254;
3950 GOTO 3970
3960 WRITE (15,3610)"          *;
3970 NEXT I
3980 PRINT
3990 C5=0
4000 FOR I=1 TO N3
4010 IF JII,J1=0 THEN 4030
4020 C5=1
4030 NEXT I
4040 IF C5=0 THEN 4150
4050 PRINT TAB10"BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2) ";
4060 FOR I=1 TO N3
4070 IF III,J1=0 OR JII,J1=0 THEN 4120
4080 WRITE (15,1140)JII,J1/0.0254;
4090 PRINT "X";
4100 WRITE (15,3760)III,J1/0.0254;
4110 GOTO 4130
4120 WRITE (15,3610)"          *;
4130 NEXT I
4140 PRINT
4150 PRINT TAB10"VOLUME DA TORA (M3) ";
4160 FOR I=1 TO N3
4170 IF VII,J1=0 THEN 4210
4180 WRITE (15,4190)VII,J1;
4190 FORMAT F10.5

```

```

4200 GOTO 4220
4210 WRITE (15,3610)"      ";
4220 NEXT I
4230 PRINT
4240 PRINT TAB10"VOLUME DO CILINDRO (M3)      ";
4250 FOR I=1 TO N3
4260 IF U[I,J]=0 THEN 4290
4270 WRITE (15,4190)U[I,J];
4280 GOTO 4300
4290 WRITE (15,3610)"      ";
4300 NEXT I
4310 PRINT
4320 PRINT TAB10"VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3) ";
4330 FOR I=1 TO N3
4340 IF W[I,J]=0 THEN 4370
4350 WRITE (15,4190)W[I,J];
4360 GOTO 4380
4370 WRITE (15,3610)"      ";
4380 NEXT I
4390 PRINT
4400 PRINT TAB10"VOL MAD SERRARIA-APROV (M3) ";
4410 FOR I=1 TO N3
4420 IF Z[I,J]=0 THEN 4450
4430 WRITE (15,4190)Z[I,J];
4440 GOTO 4460
4450 WRITE (15,3610)"      ";
4460 NEXT I
4470 PRINT
4480 NEXT J
4490 PRINT TAB10;
4500 WRITE (15,3450)
4510 PRINT TAB50"TOTAL POR CLASSE"
4520 PRINT TAB10"COMPRIMENTO DA TORA (M)      ";
4530 FOR I=1 TO N3
4540 S0=0
4550 FOR J=1 TO P2
4560 S0=S0+W[I,J]
4570 NEXT J
4580 WRITE (15,4590)S0;
4590 FORMAT F10.1
4600 NEXT I
4610 PRINT
4620 PRINT TAB10"VOLUME DA TORA (M3)      ";
4630 FOR I=1 TO N3
4640 S1=0
4650 FOR J=1 TO P2
4660 S1=S1+W[I,J]
4670 NEXT J
4680 WRITE (15,4690)S1;
4690 FORMAT F10.5
4700 NEXT I
4710 PRINT
4720 PRINT TAB10"VOLUME DO CILINDRO (M3)      ";
4730 FOR I=1 TO N3
4740 S2=0
4750 FOR J=1 TO P2
4760 S2=S2+U[I,J]
4770 NEXT J
4780 WRITE (15,4690)S2;
4790 NEXT I

```

```

4800 PRINT
4810 PRINT TAB10"VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3) ";
4820 FOR I=1 TO N3
4830 S3=0
4840 FOR J=1 TO P2
4850 S3=S3+W[I,J]
4860 NEXT J
4870 WRITE (15,4690)S3;
4880 NEXT I
4890 PRINT
4900 PRINT TAB10"VOL MAD SERRARIA-APROV (M3) ";
4910 FOR I=1 TO N3
4920 S4=0
4930 FOR J=1 TO P2
4940 S4=S4+Z[I,J]
4950 NEXT J
4960 WRITE (15,4690)S4;
4970 NEXT I
4980 PRINT
4990 PRINT TAB10;
5000 WRITE (15,3450)
5010 GOTO 5130
5020 WRITE (15,620)
5030 WRITE (15,1050)
5040 WRITE (15,620)
5050 PRINT TAB25"NAO SE OBTEN NENHUMA TORA"
5060 PRINT TAB10"VOLUME TOTAL DA ARVORE (M3) =";
5070 W1=0
5080 W2=D[I10,2]
5090 GOSUB 2950
5100 WRITE (15,5110)W1
5110 FORMAT F10.5
5120 GOTO 5550
5130 REM TOTAIS
5140 C5=V5=V6=V7=V8=0
5150 FOR J=1 TO P2
5160 FOR I=1 TO N3
5170 C5=C5+N[I,J]
5180 V5=V5+V[I,J]
5190 V6=V6+U[I,J]
5200 V7=V7+W[I,J]
5210 V8=V8+Z[I,J]
5220 NEXT I
5230 NEXT J
5240 REM IMPRESSAO DOS TOTAIS
5250 REM VOLUME TOTAL DA ARVORE
5260 W1=0
5270 W2=D[I10,2]
5280 GOSUB 2950
5290 Y[I10]=W1
5300 PRINT
5310 PRINT TAB25"TOTAIS"
5320 PRINT
5330 WRITE (15,3610)" ";
5340 PRINT " P/SERRARIA EM PERCENTAGEM TOTAL DA ARVORE"
5350 PRINT
5360 PRINT TAB10"COMPRIMENTO DA TORA (M) ";
5370 WRITE (15,5380)C5,(C5/D[I10,2])*100,D[I10,2]
5380 FORMAT F11.1,F19.2,11X,F5.0
5390 PRINT TAB10"VOLUME DE TORA SERR (M3) ";

```

```

5400 WRITE (15,5410)V5,(V5/Y[10])*100,Y[10]
5410 FORMAT F11.5,F18.2,5X,F11.5
5420 PRINT TAB10"VOLUME DO CILINDRO (M3)      ";
5430 WRITE (15,5410)V6,(V6/Y[10])*100,Y[10]
5440 PRINT TAB10"VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)    ";
5450 WRITE (15,5410)V7,(V7/Y[10])*100,Y[10]
5460 PRINT TAB10"VOLUME MAD SERRARIA-APROV (M3) ";
5470 WRITE (15,5410)V8,(V8/Y[10])*100,Y[10]
5480 PRINT
5490 PRINT TAB10"VOLUME TOTAL S/C (M3) ="Y[10]
5500 PRINT TAB10"VOLUME DE TORR (M3) ="V5
5510 PRINT TAB10"VOLUME DE MADEIRA FINA (M3) ="Y[10]-V5
5520 PRINT TAB10"VOLUME RESIDUOS (M3) ="V5-(V7+V8)
5530 WRITE (15,620)
5540 WRITE (15,1050)
5550 NEXT I0
5560 END
5570 DEF FNA(X)=B[1]+X*(B[2]+X*(B[3]+X*(B[4]+X*(B[5]+X*B[6]))))>>

```

5. CONCLUSÕES

A utilização da função polinomial de quinto grau demonstrou ser muito eficiente na estimativa dos diâmetros relativos ao longo do fuste e a sua integração possibilita o cálculo bastante preciso do volume individual da árvore, tornando-se maior essa precisão quando os dados são estratificados em classes de fator de forma natural e quando os pontos para a determinação dos coeficientes do polinômio são tomados nas alturas relativas 0,0, 0,1, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0. A vantagem da utilização da função polinomial de quinto grau está na sua flexibilidade, na facilidade de determinação dos seus coeficientes e da sua integração, podendo-se calcular o volume de quaisquer partes do fuste. A determinação dos coeficientes do polinômio pelo método de interpolação de Newton, desde que sejam utilizados apenas seis pares de dados, faz com que a função passe exatamente por esses pontos, não requerendo outros pares de dados se na curva de forma forem observadas apenas três inflexões.

A estratificação dos dados em função de classes de fator de forma natural e a conseqüente definição de funções de forma-padrão correspondentes possibilita a estimativa bastante eficiente dos diâmetros ao longo do fuste e do volume individual, podendo ser o fator de forma natural estimado através de variáveis de fácil obtenção como o DAP e a altura total. O diâmetro sem casca a um décimo da altura da árvore, necessário juntamente com a altura total para estimar os coefi-

cientes da função de forma absoluta a partir da forma relativa, pode ser estimado através de uma equação de regressão simples.

A forma da árvore mostrou-se bem caracterizada pelo fator de forma natural, o que permite afirmar que funções de forma definidas através do estudo dessa variável, via de regra, darão bons resultados. O fator de forma natural apresentou uma correlação com as variáveis diâmetro à altura do peito e altura total, o que permite a sua estimativa através de equações de regressão. O modelo apresentado nesse trabalho deu um resultado satisfatório; outros modelos, no entanto, poderão ser melhores.

As equações definidas neste trabalho, tanto para a estimativa do diâmetro sem casca a um décimo da altura, como do fator de forma natural, são válidas apenas para os dados utilizados e para povoamentos de Pinus taeda L. nas condições ecológicas da região onde se fez o presente estudo, que estejam em sítios semelhantes e com idade dentro dos limites das idades dos povoamentos onde se coletaram os dados.

O programa para o seccionamento do fuste pode ser utilizado para quaisquer povoamentos de Pinus spp e mesmo para outras espécies desde que se tenham equações de forma específicas, uma equação que estime o diâmetro a um décimo da altura ou a sua medição e ainda seja conhecido o seu fator de forma natural. Não havendo classes de fator de forma natural, não haverá necessidade de se conhecer essa variável; basta definir uma função de forma genérica e então, proceder-se o seccionamento do fuste.

As dimensões da madeira serrada são variáveis que po-

dem ser definidas cada vez que o programa é processado. Recomenda-se, no entanto, a utilização da padronização de madeira serrada de Pinus spp apresentada pela Sociedade Brasileira de Silvicultura*

Embora o programa apresentado estime a disponibilidade de madeira para serraria e o volume de madeira serrada para árvores individuais, poder-se-á, uma vez conhecida a estrutura do povoamento, ou seja, sua distribuição diamétrica, a relação hipsométrica e a frequência de cada classe de diâmetro, fazer-se essa mesma estimativa para todo o povoamento.

* Sociedade Brasileira de Silvicultura. Estudo para a padronização de comercialização de madeiras serradas de Pinus spp e outras coníferas exóticas. São Paulo, 1979. 19 p.

6. RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de Pinus taeda L., localizado no município de Guarapuava, Estado do Paraná, com o objetivo principal de se desenvolver uma metodologia para estimar o volume de toras para serraria e de madeira serrada, com base em funções de forma. Utilizaram-se para este trabalho, 237 árvores de Pinus taeda L. com idades variando de 07 a 14 anos.

Em vez de se definir uma única função de forma, visando aumentar a precisão nas estimativas do diâmetro ao longo do fuste e no cálculo por integração do volume individual, os dados foram agrupados em classes de fator de forma natural. Para cada classe, foi construída uma função de forma-padrão relativa.

O modelo de função de forma foi uma função polinomial de quinto grau, onde a variável independente é a altura relativa e a dependente, o diâmetro relativo. A função de forma absoluta pode ser obtida conhecidos a altura total e o diâmetro sem casca a um décimo da altura.

Visando facilitar a determinação do diâmetro sem casca a um décimo da altura e ainda do fator de forma natural, foram apresentados modelos de regressão linear simples e múltipla, onde as variáveis independentes podem ser facilmente obtidas. O uso dessas equações é restrito aos povoamentos de Pinus taeda L. em condições ecológicas, de sítio e idades similares à da população estudada.

Para o seccionamento do fuste, foi desenvolvido um programa de computação onde, dados o diâmetro com casca e a altura do peito, a altura total e definidas as dimensões-padrão da madeira serrada, obtém-se a disponibilidade máxima de madeira serrada, ou seja, o seccionamento do fuste é feito visando obter o máximo número de peças com as maiores dimensões.

SUMMARY

This study was carried out in even-aged stands of loblolly pine (Pinus taeda L.) located in the county of Guaraçuva, state of Paraná. The main objective was to develop a procedure to obtain saw logs and sawn timber volumes estimates based on the use of taper functions. Taper measurements were observed on 237 trees, age ranking from 7 to 14 years.

Instead of defining just an average taper function, data were sorted into 7 natural form factor classes and a relative standard taper function was used in each class. That was done to increase the precision in relative diameter estimation along tree stems and to obtain individual volume estimates accordingly.

The taper model was a fifth degree polynomial function where relative diameter inside bark was the dependent variable and, relative height, the independent. The absolute taper function can be determined by knowing the total height and the diameter inside bark at one tenth of total height. In order to obtain d.i.b estimates at one tenth of total height and, consequently, natural form factor of a given tree, regression models was also developed.

The use of these models is recommended only to loblolly pine stands of similar ecological conditions, and within the height diameter range upon which this study was developed.

A computer program for tree stem sectioning was devised. By knowing d.b.h.o.b, tree total height and sawn-wood standard dimensions, the number of sawn-logs can be determined.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHRENS, S. A mathematical expression of stem and volume for loblolly pine in Southern Brazil. Stillwater, Oklahoma State University, 1980. 69 p. Tese de Mestrado.
2. ASSMANN, E. The principles of forestry yield study. Oxford, Pergamon Press, 1970. 506 p.
3. BEHRE, C.E. Preliminary notes on studies of tree form. J. For., 21: 507-11, 1923.
4. BENNETT, F.A. & SWINDEL, B.F. Taper curves for planted slash pine. USDA For. Serv. Res. Note SE-179, 1972. 4 p.
5. BRASIL. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, D.R. Fichário e arquivos sobre reflorestamento. Brasília, D.F. 1980.
6. BRUCE, D.; CURTIS, R.O. & VANCOEVEERING, C. Development of a system of taper and volume tables for red alder. For. Sci., 14: 339-50, 1968.
7. CHAPMANN, H.H. & MEYER, W.H. Forest mensuration. New York, McGraw-Hill, 1949. 552 p.
8. CLAUGHTON-WALLIN, H. & McVICKER, F. The Jonson's absolute form quotient as an expression of taper. J. For., 18: 346-58, 1920.
9. DEMAERSCHALK, J.P. Taper equations can be converted to volume equations and point sampling factors. For. Chron., 47(6): 352-54, 1971.
10. —. Converting volume equations to compatible taper equations. For. Sci., 18(3): 241-45, 1972.
11. —. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. Can. J. For. Res., 3(1):90-94, 1973.
12. FRIES, J. Eigenvektor analyses show that birch and pine have similar form in Sweden and British Columbia. For. Chron., 41(1): 135-39, 1965.
13. FRIES, J. & MATERN, B. On the use of multivariate methods for the construction of tree taper curves. IUFRO Advis. Gr. For. Stat., Sect. 25, Conf. Stockholm. Roy. Coll. For., Res. Notes, 9: 85-117, 1965.

14. GALLANT, A.R. The theory of nonlinear regression as it relates to segmented polynomial regressions with estimated join points. Inst. Stat. Mimeograph Series n° 925. Raleigh, N.C. 1974. 25 p.
15. —. Testing a subset of the parameters of a nonlinear regression model. Inst. Stat. Mimeograph Series n° 943. Raleigh, N.C. 1974. 24 p.
16. —. Nonlinear regression. Am. Stat., 29: 73-81. 1975.
17. —. Testing a subset of the parameters of a nonlinear regression model. J. Am. Stat. Assoc., 70: 927-32, 1975.
18. GALLANT, A.R. & FULLER, W.A. Fitting segmented polynomial regression models whose join points have to be estimated. J. Am. Stat. Assoc., 68: 144-47, 1973.
19. GOLFARI, L. Esquema de Zoneamento Ecológico Florestal para o Brasil. I.B.D.F., 1974.
20. GOULDING, C.J. & MURRAY, J.C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. New Zealand. J. For. Sci., 5(3):312-22, 1976.
21. GRANVILLE, W.A.; SMITH, P.F. & LONGLEY, W.R. Elementos de cálculo diferencial e integral. Rio de Janeiro. Edit. Científica, 1966. 703 p.
22. GRAY, H.R. The form and taper of forest-tree stems. Oxford Univ., Imp. For. Inst. Paper, 32. 1956. 75 p.
23. GROSENBAUGH, L.R. Tree form: definition, interpolation, extrapolation. For. Chron., 42(4):443-56, 1966.
24. HÖJER, A.G. Tallens och granens tillväxt. Bihang till Fr. Lovén. Om våra barrskogar. Stockholm, 1903.
25. HOSOKAWA, R.T. Betriebswirtschaftliche Kriterien zur Wahl der Umtriebszeit von Araucaria angustifolia - (Bert.) O. Ktze. in Brasilien. Doktorarbeit, Albert-Ludwigs Universität, 1976.
26. HUSCH, B.; MILLER, C.I. & BEERS, T.W. Forest mensuration. 2. ed. New York, Ronald Press, 1971. 410 p.
27. JONSON, T. Taxatoriska undersökningar om skogsträdens form. I Granens stamform. Skogsvårdsföreningens Tidskrift. Häfte, 11:285-328, 1910.
28. —. Taxatoriska undersökningar om skogsträdens form. II Talens stamform. Skogsvårdsföreningens Tidskrift. Häfte, 9-10: 285-329, 1911.

29. KOZAK, A. A simple method to test parallelism and coincidence for curvilinear, multiple linear and multiple curvilinear regressions. IUFRO Advis. Gr. For. Stat., 3 rd., Jouy-en-Josas, 1970. Proceedings Paris, Inst. Nat. Rech. Agr., 1972. p 143-45.
30. KOZAK, A. & SMITH, J.H.G. Critical analysis of multivariate techniques for estimating tree taper suggests that simpler methods are best. For. Chron., 42(4): 458- 63, 1966.
31. KOZAK, A.; MUNRO, D.D. & SMITH, J.H.G. Taper functions and their application in forest inventory. For.Chron., 45(4): 278-83, 1969.
32. LARSON, P.R. Stem form development of forest trees. For. Sci. Monogr. 5, 1963. 42 p.
33. LIU, C.J. Log volume estimation with spline approximation. For. Sci., 26(3): 361-69, 1980.
34. LIU, C.J. & KEISTER, T.D. Southern pine stem form defined through principal component analysis. Can. J. For. Res., 8(2): 188-97, 1978.
35. LOETSCH, F.; ZÖHRER, F. & HALLER, K.E. Forest inventory. Berlin, B.L.V., 1975, v. 2, 369 p.
36. MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, BADEP, 1968, 350 p.
37. MATTE, L. The taper of coniferous species with special reference to loblolly pine. For. Chron., 25: 21-31, 1949.
38. MATTSSON, L. Form och formvariationer hos lårken. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt. Häfte, 13: 843-922, 1916.
39. MAX, T.A. & BURKHART, H.E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. For. Sci., 22(3): 283-89, 1976.
40. MUNRO, D.D. & DEMAERSCHALK, J.P. Taper - based volume based compatible estimating systems. For. Chron., 50(5): 1-3, 1974.
41. PETERS, R. Konstruktion eines massentafelmodells. Dissertation Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität Freiburg. i. Br. 1971.
42. PRODAN, M. Holzmesslehre. Sawerlander's Verlag, Frankfurt am Main, 1965. 644 p.

43. —. Forest biometrics. London, Pergamon Press, 1968.
447 p.
44. REINCH, C.H. Smoothing by spline functions. Numerische Mathematik, 10(3): 177-83, 1967.
45. SCARBOROUGH, J.B. Numerical Mathematical analysis. 4th. Edition, The Johns Hopkins Press, U.S.A., 1958. 576p.
46. SILVA, J.A. Schaftkurvenuntersuchungen an fichte, tanne, rotkiefer und peckkiefer. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien. 1976.
47. SPURR, S.M. Forest inventory. New York, Ronald Press, 1952. 476 p.
48. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960.
481 p.
49. WUTT, H. Schaftkurvennäherung durch interpolationspolynome. Centralblatt für das Gesante Forstwesen, 78 (1): 39-55, 1961.

APÊNDICE

QUADRO 06: Listagem dos dados

NUM	D0.04	D0.1H	D0.2H	D0.3H	D0.4H	D0.5H	D0.6H	D0.7H	D0.8H	D0.94	D0.1H	D01.3	D01.3	ALT	FROM
1	1.261	1.000	0.924	0.866	0.798	0.706	0.597	0.420	0.294	0.176	11.90	12.30	13.50	11.60	0.491
2	1.417	1.000	0.933	0.850	0.817	0.700	0.675	0.517	0.342	0.217	12.00	12.00	14.50	11.90	0.505
3	1.329	1.000	0.861	0.757	0.647	0.590	0.422	0.341	0.231	0.058	17.30	16.20	19.00	11.80	0.408
4	1.369	1.000	0.929	0.857	0.750	0.595	0.476	0.381	0.262	0.107	8.40	8.00	8.30	9.20	0.449
5	1.331	1.000	0.899	0.835	0.741	0.655	0.511	0.367	0.223	0.094	13.90	13.50	14.80	11.30	0.454
6	1.419	1.000	0.986	0.872	0.811	0.682	0.568	0.459	0.270	0.068	14.80	14.80	17.10	11.80	0.488
7	1.176	1.000	0.894	0.847	0.741	0.694	0.529	0.400	0.353	0.071	8.50	8.00	9.00	9.40	0.473
8	1.301	1.000	0.904	0.870	0.774	0.644	0.548	0.418	0.260	0.110	14.60	14.10	16.00	11.60	0.472
9	1.269	1.000	0.931	0.823	0.769	0.685	0.531	0.408	0.231	0.069	13.00	12.30	15.00	11.20	0.463
10	1.409	1.000	0.919	0.792	0.745	0.718	0.611	0.493	0.336	0.201	14.90	14.90	17.10	12.30	0.483
11	1.200	1.000	0.905	0.845	0.815	0.625	0.500	0.410	0.240	0.150	20.00	20.00	21.60	12.80	0.459
12	1.358	1.000	0.883	0.846	0.728	0.667	0.519	0.401	0.247	0.111	16.20	16.20	18.90	13.50	0.467
13	1.321	1.000	0.914	0.900	0.764	0.664	0.529	0.400	0.214	0.071	14.00	14.00	15.80	12.10	0.483
14	1.282	1.000	0.891	0.769	0.731	0.603	0.513	0.397	0.244	0.045	15.60	15.60	17.50	12.60	0.423
15	1.275	1.000	0.899	0.846	0.691	0.664	0.523	0.376	0.235	0.074	14.90	14.90	16.10	12.90	0.461
16	1.333	1.000	0.922	0.889	0.789	0.711	0.578	0.444	0.267	0.056	9.00	9.00	10.00	12.00	0.499
17	1.138	1.000	0.878	0.741	0.656	0.545	0.476	0.386	0.217	0.074	18.90	18.90	20.00	13.40	0.400
18	1.301	1.000	0.904	0.788	0.733	0.678	0.500	0.397	0.205	0.075	14.60	14.60	17.00	12.60	0.449
19	1.325	1.000	0.934	0.834	0.702	0.608	0.437	0.324	0.204	0.079	15.10	13.20	16.10	13.00	0.434
20	1.225	1.000	0.892	0.804	0.716	0.676	0.500	0.431	0.275	0.078	10.20	9.90	11.20	11.90	0.459
21	1.240	1.000	0.884	0.818	0.760	0.636	0.504	0.413	0.264	0.124	12.10	12.00	13.00	12.20	0.452
22	1.325	1.000	0.957	0.923	0.846	0.744	0.632	0.427	0.325	0.188	11.70	12.00	16.20	12.50	0.525
23	1.304	1.000	0.843	0.678	0.617	0.583	0.417	0.339	0.191	0.078	11.50	11.00	11.50	12.30	0.384
24	1.310	1.000	0.939	0.838	0.686	0.576	0.489	0.345	0.183	0.096	22.90	23.20	26.00	13.80	0.433
25	1.186	1.000	0.834	0.711	0.601	0.553	0.455	0.300	0.225	0.115	25.30	25.50	27.40	13.80	0.383
26	1.243	1.000	0.919	0.892	0.708	0.611	0.535	0.378	0.249	0.151	18.50	18.00	20.40	12.20	0.467
27	1.436	1.000	0.867	0.785	0.713	0.552	0.425	0.365	0.204	0.083	18.10	17.50	20.30	10.70	0.412
28	1.316	1.000	0.879	0.784	0.695	0.616	0.516	0.358	0.179	0.068	19.00	19.10	20.20	15.20	0.425
29	1.329	1.000	0.925	0.838	0.745	0.636	0.503	0.352	0.197	0.104	17.30	17.30	19.90	12.90	0.449
30	1.393	1.000	0.934	0.820	0.683	0.628	0.443	0.290	0.186	0.055	18.30	17.90	21.60	12.10	0.431
31	1.311	1.000	0.915	0.799	0.707	0.610	0.433	0.335	0.226	0.104	16.40	16.40	18.40	13.00	0.427
32	1.364	1.000	0.873	0.745	0.682	0.609	0.455	0.364	0.200	0.082	11.00	10.20	12.10	11.30	0.413
33	1.339	1.000	0.906	0.811	0.709	0.606	0.472	0.291	0.173	0.126	12.70	12.60	14.90	12.10	0.425
34	1.242	1.000	0.913	0.752	0.689	0.596	0.497	0.342	0.211	0.124	16.10	15.00	18.90	12.20	0.411
35	1.441	1.000	0.824	0.706	0.588	0.441	0.294	0.206	0.147	0.088	17.00	19.00	22.00	10.60	0.349
36	1.348	1.000	0.826	0.783	0.739	0.609	0.435	0.304	0.130	0.043	11.50	12.50	14.50	9.40	0.416
37	1.357	1.000	0.893	0.786	0.643	0.429	0.357	0.250	0.071	0.036	14.00	15.00	18.00	10.00	0.373
38	1.600	1.000	0.950	0.850	0.650	0.500	0.400	0.200	0.100	0.030	10.00	11.50	13.00	7.60	0.403
39	1.556	1.000	0.889	0.833	0.667	0.500	0.389	0.278	0.111	0.022	9.00	10.00	11.00	8.40	0.404
40	1.481	1.000	0.926	0.815	0.704	0.556	0.481	0.296	0.185	0.037	13.50	15.00	18.00	10.50	0.412
41	1.588	1.000	0.941	0.824	0.706	0.588	0.529	0.353	0.176	0.059	8.50	9.50	10.00	9.50	0.430
42	1.448	1.000	0.897	0.828	0.690	0.517	0.448	0.241	0.103	0.069	14.50	16.00	17.50	10.40	0.403
43	1.450	1.000	0.850	0.800	0.650	0.500	0.400	0.250	0.100	0.050	10.00	11.00	12.50	9.40	0.391
44	1.600	1.000	0.880	0.840	0.800	0.680	0.520	0.424	0.280	0.040	12.50	14.00	16.00	9.90	0.470
45	1.625	1.000	0.875	0.750	0.689	0.563	0.438	0.313	0.125	0.063	8.00	9.50	10.50	10.00	0.396
46	1.389	1.000	0.917	0.833	0.750	0.583	0.444	0.278	0.167	0.083	18.00	19.50	21.50	11.80	0.424
47	1.391	1.000	0.957	0.870	0.826	0.652	0.478	0.348	0.174	0.043	11.50	12.50	14.00	10.80	0.461
48	1.500	1.000	0.917	0.833	0.750	0.625	0.458	0.333	0.167	0.083	12.00	14.00	16.50	10.30	0.441
49	1.500	1.000	0.917	0.833	0.750	0.667	0.458	0.292	0.206	0.083	12.00	13.00	15.00	10.70	0.446
50	1.394	1.000	0.788	0.667	0.606	0.545	0.394	0.273	0.091	0.030	16.50	17.50	22.00	12.00	0.363
51	1.600	1.000	0.920	0.760	0.600	0.480	0.320	0.200	0.120	0.080	12.50	13.50	15.00	10.00	0.371
52	1.391	1.000	0.957	0.870	0.739	0.565	0.435	0.304	0.130	0.043	11.50	12.00	14.00	11.40	0.434
53	1.435	1.000	0.870	0.826	0.739	0.609	0.391	0.304	0.130	0.043	11.50	12.50	14.50	9.60	0.429
54	1.471	1.000	0.941	0.882	0.765	0.647	0.412	0.294	0.110	0.035	8.50	9.50	11.00	10.00	0.457
55	1.400	1.000	0.960	0.800	0.760	0.680	0.520	0.280	0.120	0.040	12.50	14.00	16.00	11.40	0.436
56	1.375	1.000	0.958	0.833	0.708	0.625	0.458	0.292	0.125	0.083	12.00	13.00	14.50	11.00	0.435
57	1.357	1.000	0.821	0.786	0.607	0.536	0.393	0.250	0.107	0.036	14.00	14.50	16.50	10.30	0.394
58	1.586	1.000	0.931	0.793	0.690	0.655	0.517	0.310	0.138	0.069	14.50	17.50	19.50	11.70	0.432

Continua

QUADRO 06: Listagem dos dados (continuação)

59	1.481	1.000	0.889	0.741	0.630	0.519	0.333	0.259	0.111	0.074	13.50	15.50	17.50	11.00	0.378
60	1.474	1.000	0.789	0.684	0.526	0.421	0.263	0.211	0.105	0.042	9.50	10.50	12.50	9.20	0.338
61	1.368	1.000	0.895	0.789	0.737	0.632	0.526	0.474	0.263	0.105	9.50	10.00	12.00	11.00	0.452
62	1.424	1.000	0.909	0.818	0.727	0.576	0.455	0.333	0.212	0.061	16.50	17.50	20.00	12.90	0.423
63	1.500	1.000	0.900	0.800	0.647	0.547	0.367	0.233	0.067	0.033	15.00	16.50	19.50	10.80	0.399
64	1.350	1.000	0.950	0.900	0.750	0.650	0.500	0.350	0.150	0.060	10.00	10.50	12.50	9.60	0.472
65	1.706	1.000	0.941	0.882	0.647	0.588	0.412	0.294	0.153	0.059	8.50	10.00	11.50	8.50	0.443
66	1.370	1.000	0.889	0.815	0.704	0.630	0.481	0.296	0.148	0.037	13.50	15.00	18.50	10.30	0.430
67	1.346	1.000	0.962	0.846	0.731	0.692	0.538	0.269	0.231	0.115	13.00	14.00	17.00	9.80	0.456
68	1.433	1.000	0.833	0.733	0.653	0.500	0.367	0.233	0.109	0.033	15.00	17.50	19.50	9.80	0.369
69	1.481	1.000	0.889	0.778	0.704	0.563	0.370	0.222	0.126	0.044	13.50	15.00	17.50	10.00	0.395
70	1.500	1.000	0.889	0.767	0.611	0.500	0.389	0.167	0.056	0.033	9.00	9.70	11.50	8.40	0.373
71	1.700	1.000	0.970	0.850	0.650	0.550	0.450	0.250	0.100	0.020	10.00	12.00	13.00	9.60	0.418
72	1.632	1.000	0.916	0.832	0.737	0.579	0.368	0.274	0.105	0.053	9.50	10.50	12.50	9.40	0.421
73	1.440	1.000	0.920	0.880	0.720	0.560	0.400	0.240	0.120	0.048	12.50	14.00	16.00	9.80	0.430
74	1.500	1.000	0.929	0.786	0.643	0.571	0.429	0.214	0.071	0.043	7.00	7.50	8.50	7.90	0.398
75	1.500	1.000	0.889	0.778	0.722	0.556	0.389	0.278	0.111	0.022	9.00	9.50	11.00	8.40	0.398
76	1.368	1.000	0.895	0.789	0.705	0.653	0.526	0.368	0.263	0.105	9.50	9.50	10.50	8.80	0.439
77	1.533	1.000	0.967	0.800	0.733	0.700	0.633	0.367	0.167	0.067	15.00	16.50	19.00	9.70	0.454
78	1.353	1.000	0.941	0.824	0.765	0.647	0.471	0.318	0.118	0.059	8.50	9.00	9.70	9.10	0.440
79	1.440	1.000	0.920	0.840	0.760	0.660	0.520	0.320	0.200	0.064	12.50	13.00	15.00	10.40	0.455
80	1.389	1.000	0.944	0.829	0.778	0.722	0.500	0.389	0.167	0.056	9.00	9.50	11.00	9.30	0.493
81	1.531	1.000	0.918	0.867	0.765	0.663	0.561	0.408	0.255	0.112	9.80	11.00	12.00	8.80	0.474
82	1.524	1.000	0.905	0.857	0.714	0.571	0.381	0.238	0.114	0.048	10.50	10.90	13.00	9.30	0.424
83	1.429	1.000	0.964	0.786	0.714	0.664	0.464	0.286	0.107	0.071	14.00	15.50	17.50	11.40	0.429
84	1.560	1.000	0.960	0.840	0.776	0.680	0.520	0.320	0.200	0.040	12.50	14.50	16.50	10.50	0.454
85	1.706	1.000	0.882	0.824	0.765	0.588	0.412	0.294	0.118	0.059	8.50	9.50	11.00	9.00	0.423
86	1.632	1.000	0.895	0.842	0.737	0.526	0.474	0.316	0.105	0.032	9.50	11.00	13.50	9.60	0.417
87	1.500	1.000	0.917	0.833	0.750	0.667	0.583	0.417	0.256	0.083	6.00	6.50	7.00	8.90	0.464
88	1.500	1.000	0.821	0.714	0.607	0.464	0.286	0.250	0.143	0.071	14.00	16.00	18.50	10.30	0.359
89	1.433	1.000	0.833	0.767	0.667	0.633	0.433	0.267	0.100	0.033	15.00	17.00	20.00	13.30	0.412
90	1.444	1.000	0.833	0.722	0.611	0.500	0.389	0.278	0.167	0.056	9.00	10.00	12.00	9.60	0.370
91	1.400	1.000	0.950	0.800	0.750	0.600	0.500	0.250	0.100	0.050	10.00	11.00	12.50	10.40	0.413
92	1.280	1.000	0.920	0.840	0.760	0.600	0.480	0.320	0.120	0.056	12.50	13.00	15.00	11.30	0.434
93	1.435	1.000	0.870	0.826	0.739	0.652	0.565	0.478	0.304	0.067	11.50	12.50	14.50	9.80	0.469
94	1.481	1.000	0.963	0.815	0.704	0.630	0.481	0.333	0.148	0.074	13.50	15.00	17.00	12.00	0.435
95	1.500	1.000	0.929	0.821	0.714	0.643	0.464	0.286	0.143	0.050	14.00	16.00	18.00	12.20	0.434
96	1.750	1.000	0.906	0.781	0.656	0.531	0.375	0.256	0.125	0.063	16.00	19.00	22.00	12.30	0.392
97	1.476	1.000	0.952	0.857	0.762	0.619	0.524	0.381	0.238	0.143	10.50	11.50	13.50	10.90	0.457
98	1.500	1.000	0.900	0.750	0.650	0.600	0.450	0.250	0.150	0.050	10.00	11.00	13.00	10.30	0.398
99	1.613	1.000	0.903	0.774	0.645	0.613	0.484	0.258	0.097	0.039	15.50	18.50	20.50	12.10	0.409
100	1.538	1.000	0.885	0.769	0.654	0.538	0.500	0.346	0.231	0.115	13.00	15.50	18.50	11.90	0.403
101	1.583	1.000	0.917	0.792	0.708	0.583	0.458	0.333	0.125	0.025	12.00	13.00	14.50	11.10	0.416
102	1.667	1.000	0.917	0.833	0.667	0.583	0.458	0.292	0.167	0.042	12.00	13.00	15.50	11.00	0.424
103	1.500	1.000	0.875	0.688	0.500	0.438	0.313	0.188	0.063	0.038	8.00	9.00	10.00	9.40	0.340
104	1.583	1.000	0.917	0.833	0.792	0.750	0.542	0.375	0.292	0.083	12.00	13.00	15.00	11.90	0.481
105	1.242	1.000	0.937	0.895	0.853	0.768	0.547	0.411	0.295	0.137	9.50	9.50	11.00	11.00	0.516
106	1.137	1.000	0.889	0.838	0.761	0.675	0.607	0.470	0.333	0.179	11.70	11.20	12.00	11.40	0.482
107	1.185	1.000	0.870	0.815	0.722	0.620	0.481	0.306	0.241	0.120	10.80	10.50	11.00	10.60	0.432
108	1.204	1.000	0.917	0.824	0.769	0.648	0.463	0.352	0.287	0.167	10.80	10.50	11.40	10.70	0.450
109	1.182	1.000	0.973	0.845	0.764	0.664	0.555	0.445	0.364	0.200	11.00	11.00	12.00	10.90	0.479
110	1.156	1.000	0.867	0.781	0.688	0.633	0.500	0.391	0.320	0.180	12.80	12.50	13.50	11.80	0.439
111	1.142	1.000	0.953	0.882	0.835	0.701	0.622	0.480	0.346	0.189	12.70	12.60	13.80	11.80	0.507
112	1.160	1.000	0.888	0.800	0.712	0.624	0.520	0.400	0.264	0.136	12.50	11.50	12.50	8.90	0.442
113	1.263	1.000	0.917	0.827	0.805	0.744	0.564	0.421	0.286	0.165	13.30	13.00	13.70	10.50	0.489
114	1.067	1.000	0.924	0.857	0.773	0.689	0.605	0.429	0.303	0.193	11.90	11.80	12.50	11.60	0.486
115	1.237	1.000	0.926	0.815	0.719	0.644	0.548	0.422	0.259	0.126	13.50	13.50	14.50	13.10	0.455
116	1.206	1.000	1.000	0.913	0.794	0.659	0.540	0.429	0.270	0.127	12.60	12.50	14.30	12.60	0.493
117	1.254	1.000	0.962	0.900	0.792	0.723	0.585	0.462	0.231	0.200	13.00	13.80	15.00	13.80	0.517
118	1.333	1.000	0.956	0.881	0.776	0.704	0.644	0.511	0.378	0.222	13.50	13.50	14.80	12.20	0.517

Continua

QUADRO 06: Listagem dos dados (continuação)

119	1.223	1.000	0.935	0.849	0.755	0.655	0.561	0.410	0.338	0.108	13.90	13.80	15.00	12.40	0.466
120	1.124	1.000	0.979	0.924	0.890	0.793	0.662	0.448	0.276	0.159	14.50	15.30	17.00	12.70	0.542
121	1.285	1.000	0.918	0.873	0.804	0.715	0.614	0.475	0.297	0.152	15.80	15.80	17.00	12.50	0.505
122	1.126	1.000	0.844	0.749	0.689	0.599	0.569	0.383	0.234	0.126	16.70	15.00	16.00	13.90	0.416
123	1.191	1.000	0.969	0.907	0.784	0.642	0.537	0.370	0.241	0.148	16.20	16.00	18.00	11.40	0.479
124	1.344	1.000	0.925	0.863	0.819	0.763	0.625	0.438	0.325	0.144	16.00	16.00	17.50	12.90	0.507
125	1.167	1.000	0.928	0.867	0.800	0.722	0.561	0.433	0.283	0.133	18.00	18.00	19.00	13.00	0.496
126	1.276	1.000	0.976	0.947	0.812	0.724	0.629	0.459	0.300	0.165	17.00	17.00	18.50	13.00	0.532
127	1.235	1.000	0.924	0.941	0.806	0.682	0.559	0.512	0.271	0.182	17.00	17.00	19.50	13.20	0.529
128	1.255	1.000	0.958	0.909	0.848	0.788	0.655	0.552	0.315	0.103	16.50	16.50	19.00	12.70	0.552
129	1.239	1.000	0.961	0.833	0.778	0.767	0.600	0.467	0.294	0.133	18.00	18.00	19.00	13.60	0.504
130	1.215	1.000	0.984	0.921	0.874	0.801	0.644	0.524	0.340	0.178	19.10	19.20	22.00	16.20	0.559
131	1.091	1.000	0.947	0.876	0.865	0.716	0.625	0.500	0.327	0.154	20.80	21.00	22.00	16.20	0.509
132	1.221	1.000	0.923	0.887	0.815	0.754	0.651	0.549	0.349	0.174	19.50	20.60	23.00	15.30	0.537
133	1.231	1.000	0.985	0.944	0.846	0.728	0.687	0.503	0.313	0.185	19.50	20.00	22.50	15.80	0.541
134	1.150	1.000	0.945	0.900	0.814	0.736	0.609	0.545	0.318	0.191	22.00	22.00	24.00	17.00	0.537
135	1.297	1.000	0.943	0.817	0.760	0.691	0.629	0.440	0.286	0.166	17.50	17.50	20.00	13.40	0.473
136	1.192	1.000	0.917	0.803	0.746	0.674	0.523	0.342	0.233	0.124	19.30	20.00	21.00	12.70	0.446
137	1.355	1.000	0.956	0.885	0.820	0.732	0.601	0.481	0.344	0.164	18.30	18.30	21.00	12.60	0.516
138	1.264	1.000	0.925	0.874	0.799	0.684	0.534	0.397	0.247	0.132	17.40	18.00	20.50	12.70	0.481
139	1.185	1.000	0.910	0.820	0.775	0.690	0.540	0.365	0.225	0.105	20.00	19.80	21.00	14.40	0.459
140	1.143	1.000	0.960	0.892	0.803	0.753	0.619	0.489	0.283	0.157	22.30	22.40	24.20	15.70	0.525
141	1.135	1.000	0.910	0.837	0.771	0.731	0.616	0.445	0.278	0.139	24.50	22.70	25.00	15.30	0.490
142	1.103	1.000	0.897	0.868	0.821	0.692	0.577	0.509	0.286	0.154	23.40	23.50	25.50	15.80	0.503
143	1.177	1.000	0.902	0.842	0.786	0.730	0.665	0.516	0.340	0.181	21.50	21.20	24.00	16.00	0.508
144	1.196	1.000	0.886	0.822	0.785	0.708	0.580	0.452	0.320	0.187	21.90	21.70	24.50	15.80	0.483
145	1.184	1.000	0.921	0.882	0.820	0.759	0.656	0.518	0.307	0.167	22.80	22.80	26.50	18.90	0.530
146	1.157	1.000	0.959	0.860	0.810	0.740	0.620	0.545	0.331	0.186	24.20	25.50	27.00	16.70	0.524
147	1.248	1.000	0.926	0.878	0.826	0.709	0.648	0.509	0.322	0.178	23.00	23.50	27.00	16.50	0.513
148	1.196	1.000	0.951	0.873	0.804	0.722	0.649	0.486	0.318	0.220	24.50	25.00	28.00	17.70	0.514
149	1.167	1.000	0.979	0.932	0.855	0.778	0.688	0.517	0.363	0.188	23.40	25.50	27.00	18.20	0.555
150	1.314	1.000	0.943	0.857	0.800	0.686	0.543	0.429	0.260	0.057	17.50	19.00	21.00	16.00	0.478
151	1.310	1.000	0.952	0.905	0.810	0.667	0.548	0.381	0.190	0.024	21.00	22.50	25.00	16.50	0.482
152	1.455	1.000	0.955	0.864	0.773	0.682	0.500	0.364	0.227	0.045	11.00	12.50	14.50	14.30	0.469
153	1.273	1.000	0.909	0.848	0.756	0.697	0.691	0.364	0.242	0.061	16.50	17.50	20.00	16.80	0.468
154	1.560	1.000	0.960	0.840	0.760	0.680	0.520	0.400	0.240	0.040	12.50	14.00	16.00	15.50	0.466
155	1.321	1.000	0.964	0.929	0.821	0.714	0.607	0.429	0.214	0.071	14.00	14.50	16.50	16.70	0.512
156	1.370	1.000	0.926	0.852	0.778	0.704	0.519	0.407	0.259	0.044	13.50	14.00	16.00	16.00	0.478
157	1.417	1.000	0.917	0.875	0.833	0.750	0.625	0.500	0.292	0.083	12.00	13.50	15.50	17.30	0.517
158	1.333	1.000	0.889	0.852	0.775	0.704	0.519	0.333	0.148	0.037	13.50	14.50	17.50	15.30	0.467
159	1.409	1.000	0.909	0.864	0.773	0.727	0.545	0.409	0.273	0.045	11.00	12.50	14.50	14.70	0.489
160	1.435	1.000	0.913	0.876	0.783	0.565	0.348	0.217	0.087	0.026	11.50	12.50	14.50	12.00	0.425
161	1.481	1.000	0.926	0.815	0.741	0.704	0.556	0.370	0.185	0.111	13.50	14.00	16.00	12.40	0.462
162	1.304	1.000	0.913	0.870	0.826	0.739	0.565	0.478	0.261	0.043	11.50	12.00	13.50	16.30	0.507
163	1.292	1.000	0.958	0.875	0.792	0.667	0.500	0.417	0.208	0.083	12.00	12.50	14.50	15.50	0.478
164	1.391	1.000	0.913	0.876	0.843	0.722	0.583	0.452	0.276	0.061	11.50	12.00	14.00	15.40	0.497
165	1.271	1.000	0.907	0.831	0.814	0.720	0.593	0.424	0.297	0.076	11.80	12.50	14.20	15.40	0.479
166	1.348	1.000	0.948	0.876	0.826	0.696	0.565	0.391	0.217	0.043	11.50	12.00	14.50	15.80	0.479
167	1.442	1.000	0.952	0.903	0.891	0.739	0.618	0.515	0.297	0.127	16.50	17.20	19.50	18.20	0.529
168	1.462	1.000	0.938	0.882	0.821	0.744	0.672	0.538	0.369	0.200	19.50	19.90	22.50	19.30	0.532
169	1.459	1.000	0.984	0.959	0.902	0.828	0.746	0.648	0.402	0.230	12.20	12.90	15.00	18.30	0.615
170	1.404	1.000	0.972	0.837	0.794	0.709	0.652	0.511	0.418	0.156	14.10	14.70	16.90	17.50	0.498
171	1.445	1.000	0.983	0.894	0.861	0.780	0.723	0.618	0.434	0.254	17.30	18.70	20.90	18.30	0.568
172	1.271	1.000	0.989	0.915	0.904	0.802	0.669	0.576	0.390	0.186	17.70	18.20	19.90	18.60	0.570
173	1.377	1.000	0.918	0.820	0.762	0.730	0.615	0.566	0.369	0.189	12.20	12.50	14.90	15.40	0.512
174	1.235	1.000	0.926	0.858	0.784	0.716	0.679	0.525	0.432	0.167	16.20	16.80	18.80	19.10	0.510
175	1.490	1.000	0.965	0.902	0.853	0.797	0.713	0.566	0.434	0.175	14.30	15.10	17.20	19.00	0.560
176	1.385	1.000	0.959	0.892	0.811	0.750	0.601	0.486	0.345	0.236	14.80	15.00	18.00	17.80	0.530
177	1.179	1.000	0.928	0.918	0.846	0.774	0.692	0.559	0.318	0.159	19.50	19.90	22.30	19.20	0.556
178	1.410	1.000	0.968	0.949	0.878	0.782	0.660	0.564	0.429	0.212	15.60	16.00	18.30	17.80	0.575

Continua

QUADRO 06: Listagem dos dados (continuação)

179	1.285	1.000	0.965	0.903	0.826	0.768	0.632	0.500	0.347	0.201	14.40	14.70	16.90	17.60	0.521
180	1.227	1.000	0.932	0.848	0.780	0.735	0.621	0.477	0.371	0.205	13.20	13.70	16.90	17.60	0.506
181	1.254	1.000	0.927	0.888	0.834	0.741	0.678	0.498	0.302	0.166	20.50	21.70	21.70	23.90	0.523
182	1.474	1.000	0.963	0.947	0.900	0.863	0.795	0.637	0.368	0.168	19.00	19.30	22.00	19.20	0.615
183	1.318	1.000	0.961	0.868	0.783	0.752	0.636	0.395	0.372	0.225	12.90	13.10	15.70	17.10	0.505
184	1.252	1.000	0.948	0.900	0.816	0.724	0.540	0.392	0.268	0.140	25.00	25.50	29.00	21.40	0.501
185	1.196	1.000	0.963	0.904	0.852	0.741	0.611	0.467	0.293	0.137	27.00	27.00	29.00	21.70	0.520
186	1.122	1.000	0.921	0.860	0.806	0.681	0.613	0.423	0.323	0.136	27.90	28.30	30.00	21.30	0.490
187	1.309	1.000	0.928	0.845	0.774	0.732	0.608	0.445	0.298	0.140	26.50	26.80	29.00	20.60	0.494
188	1.234	1.000	0.958	0.830	0.830	0.755	0.642	0.453	0.317	0.143	26.50	27.00	29.00	19.90	0.497
189	1.347	1.000	1.020	0.918	0.857	0.735	0.633	0.486	0.290	0.147	24.50	28.50	31.00	20.20	0.528
190	1.409	1.000	0.955	0.905	0.860	0.765	0.689	0.451	0.326	0.159	26.40	29.00	31.50	21.30	0.527
191	1.238	1.000	0.958	0.865	0.800	0.754	0.650	0.523	0.315	0.162	26.00	28.00	31.00	21.30	0.523
192	1.228	1.000	0.944	0.867	0.807	0.737	0.649	0.477	0.298	0.144	28.50	30.00	32.00	20.90	0.508
193	1.244	1.000	0.926	0.889	0.782	0.712	0.635	0.428	0.266	0.148	27.10	28.00	30.00	19.40	0.501
194	1.269	1.000	0.990	0.914	0.888	0.838	0.731	0.609	0.457	0.157	19.70	20.30	23.20	18.30	0.586
195	1.289	1.000	0.982	0.933	0.844	0.760	0.676	0.489	0.378	0.187	22.50	24.00	27.10	20.10	0.545
196	1.396	1.000	0.966	0.906	0.866	0.792	0.725	0.611	0.490	0.268	14.90	15.30	17.90	18.00	0.579
197	1.339	1.000	0.929	0.874	0.842	0.770	0.678	0.557	0.437	0.219	18.30	18.40	21.10	20.20	0.543
198	1.350	1.000	0.955	0.880	0.820	0.765	0.700	0.540	0.475	0.190	20.00	21.00	24.90	20.10	0.544
199	1.219	1.000	0.947	0.920	0.877	0.802	0.684	0.561	0.380	0.176	18.70	18.90	21.40	20.00	0.567
200	1.207	1.000	0.975	0.906	0.852	0.764	0.693	0.478	0.350	0.197	20.30	21.00	23.80	20.10	0.534
201	1.184	1.000	0.942	0.847	0.779	0.695	0.589	0.474	0.311	0.116	19.00	19.30	22.50	20.20	0.488
202	1.246	1.000	0.975	0.925	0.849	0.754	0.668	0.518	0.382	0.211	19.90	20.30	23.90	20.30	0.547
203	1.270	1.000	0.930	0.876	0.800	0.714	0.638	0.530	0.395	0.238	18.50	18.60	20.90	19.60	0.523
204	1.293	1.000	0.937	0.856	0.776	0.695	0.575	0.529	0.362	0.236	17.40	18.10	21.60	19.10	0.510
205	1.257	1.000	0.936	0.866	0.807	0.706	0.588	0.508	0.326	0.171	18.70	19.30	21.70	19.30	0.507
206	1.172	1.000	0.971	0.866	0.795	0.711	0.598	0.485	0.347	0.184	23.90	24.80	27.90	21.00	0.505
207	1.236	1.000	0.944	0.893	0.843	0.781	0.674	0.534	0.455	0.298	17.80	18.00	21.80	18.50	0.556
208	1.380	1.000	0.964	0.901	0.859	0.802	0.688	0.583	0.385	0.214	19.20	19.30	22.60	21.00	0.568
209	1.215	1.000	0.949	0.925	0.888	0.799	0.701	0.584	0.435	0.234	21.40	21.50	25.40	20.30	0.578
210	1.254	1.000	0.947	0.900	0.823	0.732	0.660	0.502	0.344	0.211	20.90	22.40	25.80	20.30	0.529
211	1.339	1.000	0.988	0.917	0.833	0.714	0.637	0.536	0.417	0.238	16.80	17.20	20.00	16.70	0.539
212	1.303	1.000	0.989	0.957	0.846	0.702	0.686	0.559	0.426	0.181	18.80	19.80	22.20	20.10	0.551
213	1.250	1.000	0.987	0.921	0.849	0.783	0.711	0.513	0.362	0.211	15.20	16.50	18.70	17.60	0.554
214	1.303	1.000	0.961	0.897	0.832	0.761	0.645	0.613	0.413	0.232	15.50	17.00	19.40	19.00	0.563
215	1.348	1.000	0.993	0.894	0.844	0.780	0.681	0.652	0.504	0.270	14.10	15.00	17.30	16.60	0.581
216	1.333	1.000	0.948	0.925	0.862	0.793	0.690	0.575	0.414	0.264	17.40	18.50	21.70	19.00	0.577
217	1.167	1.000	0.933	0.872	0.783	0.694	0.589	0.500	0.378	0.222	18.00	18.30	20.50	19.50	0.508
218	1.293	1.000	0.976	0.878	0.829	0.756	0.624	0.512	0.366	0.176	20.50	21.00	23.90	20.00	0.527
219	1.329	1.000	0.941	0.895	0.855	0.796	0.704	0.632	0.467	0.257	15.20	15.50	18.40	18.10	0.580
220	1.327	1.000	0.960	0.911	0.866	0.817	0.738	0.624	0.426	0.312	20.20	21.50	24.30	20.40	0.597
221	1.233	1.000	0.942	0.873	0.799	0.741	0.640	0.534	0.407	0.228	18.90	19.10	22.70	18.10	0.530
222	1.337	1.000	0.955	0.921	0.832	0.787	0.644	0.515	0.351	0.199	20.20	20.70	24.00	20.00	0.554
223	1.275	1.000	0.980	0.910	0.850	0.845	0.590	0.520	0.350	0.195	20.00	20.50	23.30	19.20	0.570
224	1.351	1.000	0.984	0.951	0.832	0.757	0.643	0.508	0.384	0.211	18.50	20.00	22.50	19.20	0.556
225	1.318	1.000	0.942	0.879	0.827	0.734	0.671	0.566	0.358	0.231	17.30	17.60	20.40	18.70	0.537
226	1.341	1.000	0.919	0.896	0.815	0.717	0.624	0.520	0.370	0.197	17.30	17.90	20.80	19.30	0.525
227	1.250	1.000	0.955	0.891	0.795	0.731	0.654	0.532	0.353	0.205	15.60	16.10	19.50	18.80	0.531
228	1.309	1.000	0.972	0.899	0.813	0.719	0.587	0.431	0.332	0.146	28.80	30.00	33.00	21.80	0.506
229	1.244	1.000	0.908	0.888	0.782	0.743	0.591	0.396	0.254	0.116	30.30	31.50	33.00	22.30	0.502
230	1.275	1.000	0.906	0.872	0.772	0.671	0.617	0.446	0.275	0.154	29.80	30.50	33.00	22.40	0.487
231	1.237	1.000	0.923	0.863	0.809	0.679	0.575	0.445	0.241	0.134	29.90	31.00	33.00	21.50	0.484
232	1.301	1.000	0.901	0.848	0.738	0.691	0.610	0.401	0.255	0.124	28.20	30.00	32.50	21.10	0.474
233	1.300	1.000	0.893	0.824	0.776	0.707	0.579	0.497	0.293	0.145	29.00	31.00	35.00	20.40	0.489
234	1.206	1.000	0.942	0.868	0.819	0.721	0.592	0.423	0.252	0.138	32.60	33.50	36.00	23.00	0.494
235	1.250	1.000	0.911	0.891	0.799	0.701	0.622	0.424	0.283	0.164	30.40	32.00	34.00	23.00	0.499
236	1.229	1.000	0.886	0.867	0.759	0.721	0.632	0.527	0.302	0.143	31.50	32.00	35.00	20.30	0.514
237	1.259	1.000	0.966	0.922	0.854	0.752	0.629	0.493	0.340	0.173	29.40	31.00	34.50	21.50	0.538

QUADRO 07: Listagem das variáveis

VARIÁVEIS SUBSCRITAS

A=FATOR DE FORMA NATURAL
 B=COEFICIENTES PARA A FUNÇÃO DE FORMA ABSOLUTA
 C=COMPRIMENTOS-PADRAO
 D=DIAMETROS A ALTURA DO PEITO (COM CASCA) E ALTURA TOTAL
 E=COMPRIMENTO TOTAL DE UMA TORA
 F=DIAMETRO NA PONTA FINA DE UMA TORA PARA CADA CLASSE
 G=COEFICIENTES DA FUNÇÃO DE FORMA RELATIVA
 H=DIAMETRO A 0.1 DA ALTURA (SEM CASCA) E ALTURA TOTAL
 I=ESPESSURA DE UMA PEÇA LATERAL
 J=LARGURA DE UMA PEÇA LATERAL
 K=CLASSE DE FORMA
 L=COMPRIMENTO INICIAL DE UMA TORA
 M=DIAMETRO MINIMO NA PONTA FINA
 N=COMPRIMENTO-PADRAO DE UMA TORA
 O=ACRESCIMOS AOS COMPRIMENTOS DE TORA
 P=NUMERO DE TORAS DE UMA MESMA CLASSE
 Q=VOLUME RESULTANTE DA INTEGRAÇÃO DA FUNÇÃO DE FORMA
 R=DIMENSÃO DO BLOCO (LARGURA)
 S=DIMENSÃO DO BLOCO (ESPESSURA)
 T=VARIÁVEL AUXILIAR PARA CÁLCULO DO COMPRIMENTO DA TORA
 U=VOLUME DO CILINDRO
 V=VOLUME TOTAL DE UMA TORA
 X=ESPESSURA DE UMA PEÇA LATERAL
 W=VOLUME DE UM BLOCO DE MADEIRA SERRADA
 Z=VOLUME DAS PEÇAS LATERAIS

VARIÁVEIS SIMPLES

A0=ÂNGULO REFERENTE À PEÇA DE MAIOR DIMENSÃO
 A1=LARGURA DA PEÇA DE MAIOR ÁREA
 A2=ESPESSURA DA PEÇA DE MAIOR ÁREA
 B1=ESPESSURA DA PEÇA LATERAL
 B2=LARGURA DA PEÇA LATERAL
 C1=CÓDIGO PARA UNIDADE DE COMPRIMENTO
 C5=VARIÁVEL AUXILIAR
 E =VARIÁVEL AUXILIAR
 E1,E3=ESPESSURAS DO CORTE TRANSVERSAL
 E2,E4=ESPESSURAS DO CORTE LONGITUDINAL
 L =LIMITE INFERIOR DA PRIMEIRA CLASSE DE FORMA
 L0=INTERVALO ENTRE COMPRIMENTOS-PADRAO
 L1=COMPRIMENTO MINIMO DA TORA
 L2=COMPRIMENTO MAXIMO DA TORA

Continua

QUADRO 07: Listagem das variáveis (continuação)

N =NUMERO DE OBSERVACOES
N0=NUMERO DE COMPRIMENTOS-PADRAO
N1=NUMERO DE CLASSES DE TORAS
N2=CODIGO DA UNIDADE DAS DIMENSOES
N3=NUMERO DE CLASSES
N4=COMPRIMENTO-PADRAO
N5=PARTE FRACIONARIA DO COMPRIMENTO DA TORA
N6=NUMERO DE TORA DE UMA MESMA CLASSE
P2=VARIABEL AUXILIAR
R =RAIO CORRESPONDENTE AO DIAMETRO NA PONTA FINA
R1=LARGURA DO BLOCO
R5=ESPESURA DO BLOCO
R6=DIMENSÃO MINIMA DE UMA PEÇA
S1=VARIABEL AUXILIAR: SOMATORIA DO VOLUME DA TORA
S2=SOMATORIA DO VOLUME DO CILINDRO
S3=SOMATORIA DO VOLUME DO BLOCO
S4=SOMATORIA DO VOLUME DAS PEÇAS LATERAIS
X =VARIABEL AUXILIAR
W1=LIMITE INFERIOR PARA INTEGRACAO
W2=LIMITE SUPERIOR PARA INTEGRACAO
Z0=MAXIMO DE UMA FUNCAO
Z1=CODIGO PARA ARQUIVO DOS COEFICIENTES
Z2=CODIGO PARA ARQUIVO DE DADOS

QUADRO 08: Resultado do seccionamento (exemplo 1)

SECCIONAMENTO DO FUSTE EM TORAS

ARV	DAPCC (CM)	DS0.1 (CM)	ALT.T (M)	FFH0H	CFH0H
3.	20.0	17.1	16.0	0.509	5

COEFICIENTES DA FUNCAO DE FORMA

B(1) = 0.21721
 B(2) = -0.0438364
 B(3) = 0.0119083
 B(4) = -1.57349E-03
 B(5) = 9.16053E-05
 B(6) = -2.00006E-06

ESQUEMA PARA O SECCIONAMENTO

COMPRIMENTO MINIMO ADMISSIVEL(M) = 2.1
 COMPRIMENTO MAXIMO ADMISSIVEL(M) = 4.2
 COMPRIMENTOS-PADRAO (M) = 2.1 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.2
 NUMERO DE CLASSES DE TORAS = 5

CLASSE	DIMENSOES (POL)	DIAM MINIMO (CM)
1	3.0 X 3.0	12.0
2	4.0 X 4.0	16.0
3	5.0 X 5.0	20.0
4	6.0 X 6.0	24.0
5	7.0 X 7.0	28.0

DIM MIN PARA O SECCIONAMENTO = 0.0127 X 0.0762

ESPESSURA (MM) E1 = 10
 ESPESSURA (MM) E2 = 6

Continua

QUADRO 08: Resultado do seccionamento (exemplo 1)
(Continuação)

RESULTADOS DO SECCIONAMENTO DO FUSTE

CLASSES DE TORAS		
	CLASSE 1	CLASSE 2
COMPRIMENTO DA TORA (M)	4.2	2.4
DIAMETRO NA PONTA FINA (CM)	13.9	16.1
BITOLAS-BLOCO (POL)	3.0X 3.0	4.0X 4.0
BITOLAS-PECAS LAT1 (POL) (2)	3.0X 0.5	
BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2)	2.5X 0.5	2.5X 0.5
VOLUME DA TORA (M3)	0.07373	0.06301
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.06327	0.04874
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.02433	0.02467
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.01487	0.00385
=====		
TOTAL POR CLASSE		
COMPRIMENTO DA TORA (M)	4.2	2.4
VOLUME DA TORA (M3)	0.07373	0.06301
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.06327	0.04874
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.02433	0.02467
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.01487	0.00385
=====		

TOTAIS

	P/SERRARIA	EM PERCENTAGEM	TOTAL DA ARVORE
COMPRIMENTO DA TORA (M)	6.6	41.25	16
VOLUME DE TORA SERR (M3)	0.13674	69.84	0.19580
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.11201	57.21	0.19580
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.04900	25.03	0.19580
VOLUME MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.01872	9.56	0.19580

VOLUME TOTAL S/C (M3) = 0.195796
 VOLUME DE TORA (M3) = 0.1367369
 VOLUME DE MADEIRA FINA (M3) = 0.0590591
 VOLUME RESIDUOS (M3) = 0.06901457

QUADRO 09 : Resultado do seccionamento (exemplo 2)

SECCIONAMENTO DO FUSTE EM TORAS

ARV	DAPCC (CM)	DSO.1 (CM)	ALT.T (M)	FFHOH	CFHOH
2	30.0	26.1	22.0	0.550	6

COEFICIENTES DA FUNCAO DE FORMA

B(1) = 0.340971
 B(2) = -0.0568091
 B(3) = 0.0116169
 B(4) = -1.10586E-03
 B(5) = 4.59251E-05
 B(6) = -7.17322E-07

ESQUEMA PARA O SECCIONAMENTO

COMPRIMENTO MINIMO ADMISSIVEL(M) = 2.1
 COMPRIMENTO MAXIMO ADMISSIVEL(M) = 4.2
 COMPRIMENTOS-PADRAO (M) = 2.1 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.2
 NUMERO DE CLASSES DE TORAS = 5

CLASSE	DIMENSÕES (POL)	DIAM MINIMO (CM)
1	3.0 X 3.0	12.0
2	4.0 X 4.0	16.0
3	5.0 X 5.0	20.0
4	6.0 X 6.0	24.0
5	7.0 X 7.0	28.0

DIM MIN PARA O SECCIONAMENTO = 0.0127 X 0.0762

ESPESSURA (MM) E1 = 10
 ESPESSURA (MM) E2 = 6

Continua

QUADRO 09 : Resultado do seccionamento (exemplo 2)
(continuação)

RESULTADOS DO SECCIONAMENTO DO FUSTE

	CLASSES DE TORAS			
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
COMPRIMENTO DA TORA (M)	2.1	3.0	3.3	3.9
DIAMETRO NA PONTA FINA (CM)	12.5	16.0	23.1	24.0
BITOLAS-BLOCO (POL)	3.0X 3.0	4.0X 4.0	5.0X 5.0	6.0X 6.0
BITOLAS-PECAS LAT1 (POL) (2)			5.0X 1.0	
BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2)		2.5X 0.5	4.5X 1.0	4.0X 0.5
VOLUME DA TORA (M3)	0.03373	0.07844	0.14239	0.23320
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.02580	0.06032	0.13782	0.17669
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.01214	0.03086	0.05304	0.09035
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)		0.00482	0.04033	0.01004
COMPRIMENTO DA TORA (M)			4.2	
DIAMETRO NA PONTA FINA (CM)			20.2	
BITOLAS-BLOCO (POL)			5.0X 5.0	
BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2)			3.5X 0.5	
VOLUME DA TORA (M3)			0.15934	
VOLUME DO CILINDRO (M3)			0.13460	
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)			0.06758	
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)			0.00946	
	TOTAL POR CLASSE			
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
COMPRIMENTO DA TORA (M)	2.1	3.0	7.5	3.9
VOLUME DA TORA (M3)	0.03373	0.07844	0.30173	0.23320
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.02580	0.06032	0.27241	0.17669
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.01214	0.03086	0.12064	0.09035
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.00000	0.00482	0.04979	0.01004

TOTAIS

	P/SERRARIA	EM PERCENTAGEM	TOTAL DA ARVORE
COMPRIMENTO DA TORA (M)	16.5	75.00	22
VOLUME DE TORA SERR (M3)	0.64710	95.72	0.67600
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.53522	79.18	0.67600
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.25399	37.57	0.67600
VOLUME MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.06465	9.56	0.67600
VOLUME TOTAL S/C (M3) = 0.675996			
VOLUME DE TORA (M3) = 0.6470967			
VOLUME DE MADEIRA FINA (M3) = 0.0288993			
VOLUME RESIDUOS (M3) = 0.32845246			

QUADRO 10: Resultado do seccionamento (exemplo 3)

SECCIONAMENTO DO FUSTE EM TORAS

ARV	DAPCC (CM)	DS0.1 (CM)	ALT.T (M)	FFH0H	CFH0H
1	40.0	35.2	25.0	0.556	6

COEFICIENTES DA FUNCAO DE FORMA

B(1) = 0.458388
 B(2) = -0.0672073
 B(3) = 0.0120941
 B(4) = -1.01313E-03
 B(5) = 3.70252E-05
 B(6) = -5.08913E-07

ESQUEMA PARA O SECCIONAMENTO

COMPRIMENTO MINIMO ADMISSIVEL(M) = 2.1
 COMPRIMENTO MAXIMO ADMISSIVEL(M) = 4.2
 COMPRIMENTOS-PADRAO (M) = 2.1 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.2
 NUMERO DE CLASSES DE TORAS = 5

CLASSE	DIMENS0ES (POL)	DIAM MINIMO (CM)
1	3.0 X 3.0	12.0
2	4.0 X 4.0	16.0
3	5.0 X 5.0	20.0
4	6.0 X 6.0	24.0
5	7.0 X 7.0	28.0

DIM MIN PARA O SECCIONAMENTO = 0.0127 X 0.0762

ESPESSURA (MM) E1 = 10
 ESPESSURA (MM) E2 = 6

Continua

QUADRO 10: Resultado do seccionamento (exemplo 3)
(continuação)

RESULTADOS DO SECCIONAMENTO DO FUSTE

CLASSES DE TORAS					
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
COMPRIMENTO DA TORA (M)	3.6		2.4	2.4	3.9
DIAMETRO NA PONTA FINA (CM)	12.7		20.1	24.5	32.8
BITOLAS-BLOCO (POL)	3.0X 3.0		5.0X 5.0	6.0X 6.0	7.0X 7.0
BITOLAS-PECAS LAT1 (POL) (2)				6.0X 0.5	7.0X 1.5
BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2)			3.5X 0.5	4.5X 1.0	6.5X 1.5
VOLUME DA TORA (M3)	0.07759		0.09433	0.13073	0.43473
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.04547		0.07615	0.11284	0.32917
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.02085		0.03855	0.05551	0.12297
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)			0.00540	0.02313	0.10164
COMPRIMENTO DA TORA (M)					4.2
DIAMETRO NA PONTA FINA (CM)					31.1
BITOLAS-BLOCO (POL)					7.0X 7.0
BITOLAS-PECAS LAT1 (POL) (2)					7.0X 1.0
BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2)					6.0X 1.5
VOLUME DA TORA (M3)					0.33061
VOLUME DO CILINDRO (M3)					0.31772
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)					0.13246
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)					0.08650
COMPRIMENTO DA TORA (M)					4.2
DIAMETRO NA PONTA FINA (CM)					28.0
BITOLAS-BLOCO (POL)					7.0X 7.0
BITOLAS-PECAS LAT1 (POL) (2)					7.0X 0.5
BITOLAS-PECAS LAT2 (POL) (2)					5.0X 1.0
VOLUME DA TORA (M3)					0.29428
VOLUME DO CILINDRO (M3)					0.25862
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)					0.13246
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)					0.04595
TOTAL POR CLASSE					
COMPRIMENTO DA TORA (M)	3.6	0.0	2.4	2.4	12.3
VOLUME DA TORA (M3)	0.07759	0.00000	0.09433	0.13073	1.05962
VOLUME DO CILINDRO (M3)	0.04547	0.00000	0.07615	0.11284	0.90551
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.02085	0.00000	0.03855	0.05551	0.38789
VOL MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.00000	0.00000	0.00540	0.02313	0.23410

TOTAIS

	P/SERRARIA	EM PERCENTAGEM	TOTAL DA ARVORE
COMPRIMENTO DA TORA (M)	20.7	82.80	25
VOLUME DE TORA SERR (M3)	1.36227	98.22	1.38694
VOLUME DO CILINDRO (M3)	1.13997	82.19	1.38694
VOL MAD SERRARIA-BLOCO (M3)	0.50279	36.25	1.38694
VOLUME MAD SERRARIA-APROV (M3)	0.26262	18.94	1.38694

VOLUME TOTAL S/C (M3) = 1.38694
VOLUME DE TORA (M3) = 1.3622676
VOLUME DE MADEIRA FINA (M3) = 0.0246724
VOLUME RESIDUOS (M3) = 0.59685334
